

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **DIPLOMSKI RAD**

Luka Krizmanić

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Luka Krizmanić

Zagreb, 2017.

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru, Prof. dr. sc. Igoru Balenu na stručnim savjetima i pomoći, gospodinu Viktoru Vušaku iz tvrtke Vaillant, te zaposlenicima tvrtke Thalpos na stručnim savjetima prilikom izrade rada.

Luka Krizmanić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Krizmanić** Mat. br.: 0035183115

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja i hlađenja stambene zgrade**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and cooling system for residential building**

Opis zadatka:

U ovom radu, potrebno je projektirati sustav grijanja i hlađenja za stambenu zgradu s 3 stana, ukupne korisne površine 212 m<sup>2</sup>, s vanjskim bazenom površine 44 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Stambena zgrada ima tri etaže (Po+Pr+1K). Najprije je potrebno usporediti tri varijante rješenja s različitim izvorima topline: kotlom na biomasu, dizalicom topline tlo-voda i dizalicom topline zrak-voda te odabrati optimalno tehničko rješenje na temelju usporedbe investicijskih i pogonskih troškova. Sustav grijanja predvidjeti s temperaturnim režimom 35/30 °C, a sustav hlađenja predvidjeti s temperaturnim režimom 12/16 °C. Pripremu potrošne tople vode (PTV) predvidjeti u izvedbi akumulacijskog sustava sa solarnim kolektorima. Također, predvidjeti dogrijavanje bazenske vode sa solarnim kolektorima u razdoblju od svibnja do rujna. Odabrano rješenje sustava potrebno je razraditi na razini glavnog projekta. Zgrada se nalazi na području grada Korčule.

Na raspolaganju su energetske izvor:

- elektro-priključak 230/400V; 50Hz,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu zgrade za zimu i za ljeto,
- toplinsku i količinsku bilancu razvoda vode odabranog sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV,
- hidraulički proračun cijevne mreže ogrjevnog i rashladnog medija,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije odabranog sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu regulacije,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.


U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 28. rujna 2017. Datum predaje rada: 30. studenog 2017. Predvidjeni datum obrane: 6., 7. i 8. prosinca 2017.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednica Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	3
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA: .....	5
1    Uvod.....	9
2    Opis zgrade .....	18
3    Projektni toplinski gubici zgrade - HRN EN 12831 .....	21
3.1    Rezultati proračuna.....	24
4    Proračun toplinskog opterećenja prema VDI 2078.....	26
5    PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE $Q_{h,nd}$ I HLAĐENJE $Q_{c,nd}$ PREMA HRN EN ISO 13790 .....	28
5.1    Ulazni parametri .....	28
5.2    Rezultati proračuna.....	30
6    Odabir optimalnog rješenja sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a .....	31
6.1    Kotao na biomasu (drvena sječka).....	31
6.2    Dizalica topline tlo - voda .....	32
6.3    Dizalica topline zrak - voda.....	32
6.4    Usporedba sustava grijanja hlađenja i pripreme PTV-a .....	33
7    Odabir termotehničke opreme.....	34
7.1    Dizalica topline zrak - voda.....	34
7.2    Potrošna topla voda .....	37
7.2.1    Potrebna količina PTV-a .....	37
7.3    Solarni kolektori .....	40
7.3.1    Odabir ekspanzijske posude solarnog kruga .....	42
7.4    Odabir ventilokonvektora .....	45
7.5    Podno grijanje.....	48
7.6    Odabir radijatorskog grijanja.....	53
7.7    Odabir cirkulacijskih pumpi .....	54
7.7.1    Proračun cirkulacijske pumpe primarnog kruga .....	54
7.7.2    Proračun cirkulacijske pumpe sekundarnog kruga.....	55
7.7.3    Odabir pumpe kruga podnog grijanja.....	56

7.8	Odabir ekspanzijske posude kruga grijanja .....	59
7.9	Izmjenjivač topline vanjskog bazena.....	61
8	TEHNIČKI OPIS SUSTAVA.....	62
8.1	Grijanje i hlađenje .....	62
8.2	Potrošna topla voda (PTV) .....	63
8.3	Regulacija .....	65
9	Zaključak.....	67

**POPIS SLIKA**

Slika 1: Podjela sustava grijanja.....	8
Slika 2: Pločasti radijator [8].....	11
Slika 3: Člankasti radijator.....	12
Slika 4: Kupaonski cijevni radijator.....	12
Slika 5: Dvocijevni i četverocijevni sustav ventilokonvektora [13] .....	13
Slika 6: Profil temperature po visini prostorije [14] .....	14
Slika 7: Petlja podnog grijanja [15].....	15
Slika 8: Geotermalna sonda i vodoravno kolektorsko polje [16].....	16
Slika 9: Dizalica topline sa zrakom kao izvorom energije [17] .....	16
Slika 10: Dizalica topline sa podzemnom vodom kao izvorom energije [16] .....	17
Slika 11: Prikaz stambene zgrade.....	18
Slika 12: Tlocrt podruma.....	19
Slika 13: Tlocrt prizemlja.....	19
Slika 14: Tlocrt kata .....	20
Slika 16: Usporedba troškova termotehničkih sustava [18].....	33
Slika 17: Dizalica topline Vaillant aroTHERM [7].....	34
Slika 18: Ogrjevnj učin dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi [7].....	35
Slika 19: Rashladni učin dizalice topline u ovisnosti o temperaturnom režimu [7] .....	35
Slika 20: Preporučena potrošnja tople vode [6] .....	37
Slika 21: Akumulacijski spremnik proizvođača Vaillant [7] .....	39
Slika 22: Solarni kolektor proizvođača Vaillant tip auroTHERM VFK 145/2 [7] .....	40
Slika 23: Toplinska energija solarnog sustava [18].....	41
Slika 24: Odabir ekspanzijske posude solarnog kruga [7] .....	42
Slika 25: Elbi DSV 80 [19] .....	42
Slika 26: Pad tlaka u cjevovodu solarnog kruga [7].....	43
Slika 27: Vaillant auroFLOW VMS 70 [7] .....	44
Slika 28: Ventilokonvektor proizvođača Vaillant [7] .....	45
Slika 29: Temeljena ploča REHAU Vario i cijev podnog grijanja RAUTITAN flex [15].....	48
Slika 30: Razdjelnik i sabirnik podnog grijanja HKV-D [15] .....	49
Slika 31: Podžbukni ormarić podnog grijanja [15] .....	49
Slika 32: Dimenzije podžbuknog ormarića [15] .....	50
Slika 33: Kupaonski cijevni radijator [8] .....	53
Slika 34: Karakteristika pumpe dizalice topline [7] .....	54
Slika 35: Cirkulacijska pumpa Grundfos ALPHA2 [20] .....	55
Slika 36: Karakteristika pumpe sekundarnog kruga [20].....	56
Slika 37: Karakteristika pumpe - Apartman 1 [20] .....	57
Slika 38: Karakteristika pumpe - Apartman 2 [20] .....	58
Slika 39: Karakteristika pumpe - Apartman 3 [20] .....	59
Slika 40: Ekspanzijska posuda kruga grijanja [19] .....	61
Slika 41: Izmjenjivač topline vanjskog bazena [21] .....	61

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Korišteni i maksimalno dopušteni koeficijenti prolaza topline.....	24
Tablica 2: Transmisijski gubici prostorije.....	24
Tablica 3: Rezultati proračuna za zgradu .....	25
Tablica 4: Toplinsko opterećenje .....	26
Tablica 5: Vršna opterećenja projektnog dana u mjesecu.....	27
Tablica 6: Ulazni podaci .....	29
Tablica 7: Podaci o građevnim elementima .....	29
Tablica 8: Podaci o otvorima za zgradu .....	29
Tablica 9: Koeficijenti transmisijske i ventilacijske izmjene topline.....	30
Tablica 10: Izračunata godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje.....	30
Tablica 11: Isporučena i primarna energija sustava grijanja (kotao na biomasu) .....	31
Tablica 12: Isporučena i primarna energija sustava grijanja (DT tlo-voda).....	32
Tablica 13: Isporučena i primarna energija sustava grijanja (dizalica topline zrak-voda).....	33
Tablica 14: Dobivena i dodatna potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a .....	41
Tablica 15: Parametri instaliranih ventilokonvektora .....	46
Tablica 16: Parametri ventilokonvektora po prostorijama .....	47
Tablica 17: Rezultati proračuna za Apartman 1 .....	51
Tablica 18: Rezultati proračuna za Apartman 2 .....	52
Tablica 19: Rezultati proračuna za Apartman 3 .....	52
Tablica 20: Tehničke karakteristike kupaonskih radijatora .....	53
Tablica 21: Pad tlaka u primarnom krugu .....	54
Tablica 22: Pad tlaka u sekundarnom krugu .....	55
Tablica 23: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 1 .....	56
Tablica 24: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 2 .....	57
Tablica 25: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 3 .....	58
Tablica 26: Volumen vode u sustavu grijanja.....	60



**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

Nacrt 1: Tlocrt podruma - Podno grijanje	M1:100
Nacrt 2: Tlocrt prizemlja - Podno grijanje	M1:100
Nacrt 3: Tlocrt 1. kata - Podno grijanje	M1:100
Nacrt 4: Tlocrt podruma Radijatorsko grijanje	M1:100
Nacrt 5: Tlocrt prizemlja - Radijatorsko grijanje	M1:100
Nacrt 6: Tlocrt 1. kata - Radijatorsko grijanje	M1:100
Nacrt 7: Tlocrt krova - Solarni kolektori	M1:100
Nacrt 8: Tlocrt podruma - Ventilokonvektorski sustav	M1:100
Nacrt 9: Tlocrt prizemlja - Ventilokonvektorski sustav	M1:100
Nacrt 10: Tlocrt 1. kata - Ventilokonvektorski sustav	M1:100
Nacrt 11: Podrum - Strojarnica - Dispozicija opreme/1	M1:25
Nacrt 11a: Podrum - Strojarnica - Dispozicija opreme/2	M1:25
Nacrt 12: Funkcionalna shema spajanja	-

**POPIS OZNAKA:**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$U$	$[W/m^2K]$	Koeficijent prolaza topline
$\theta$	$[^{\circ}C]$	Temperatura
$A_p$	$[m^2]$	Površina prostorije
$\vartheta_u$	$[^{\circ}C]$	Unutrašnja temperatura prostorije
$\phi_n$	$[W]$	Ukupni projektni toplinski gubici/opterećenje
$\phi_T$	$[W]$	Ukupni transmisijski gubici
$\phi_V$	$[W]$	Ukupni ventilacijski gubici
$A$	$[m^2]$	Oplošje grijanog dijela zgrade
$V_e$	$[m^3]$	Volumen grijanog dijela zgrade
$f_0$	$[m^{-1}]$	Faktor oblika zgrade
$A_K$	$[m^2]$	Površina korisnog dijela zgrade
$A_f$	$[m^2]$	Površina grijane zone računata s vanjskim dimenzijama
$n_{50}$	$[h^{-1}]$	Broj izmjena zraka pri nametnutoj razlici tlaka od 50 Pa
$Q_{H,nd}$	$[kWh/a]$	Ukupna godišnja potrebna energija za grijanje
$Q''_{H,nd}$	$[kWh/m^2a]$	Specifična godišnja potrebna energija za grijanje po $m^2$
$Q_{C,nd}$	$[kWh/a]$	Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje
$Q''_{C,nd}$	$[kWh/m^2a]$	Specifična godišnja potrebna energija za hlađenje po $m^2$
$V_{W,f,dan}$	$[lit./jedinici/dan]$	Dnevna potrošnja PTV-a po korisniku u zgradi
$f$	$[-]$	Broj ljudi
$\vartheta_{w,del}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura potrošne tople vode
$\vartheta_{w,0}$	$[^{\circ}C]$	Temperatura svježje vode
$Q_w$	$[kWh]$	Godišnja potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a
$Q_{w,sol,us}$	$[kWh]$	Potrebna godišnja izlazna toplina iz podsustava za proizvodnju PTV-a
$Q_{w,sol,out}$	$[kWh]$	Isporučena Sunčeva energija u sustav za proizvodnju PTV-a
$f_{sol}$	$[-]$	Udio isporučene Sunčeve energije u toplinskom opterećenju
$Q_{bu,m}$	$[kWh]$	Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline
$Q_{gen,in}$	$[kWh]$	Toplinska energija za grijanje na ulazu u podsustav proizvodnje
$E_{del}$	$[kWh]$	Isporučena energija u sustav
$f_p$	$[kWh]$	Faktor primarne energije
$E_{prim}$	$[kWh]$	Primarna energija sustava

## SAŽETAK

U ovom radu izrađen je projekt sustava grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode za stambenu zgradu na području grada Korčule prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Zgrada se sastoji od tri apartmana, jednog u prizemlju i dva na katu ukupne korisne površine 212 m<sup>2</sup>.

Proračun toplinskog opterećenja se vrši za klimatsku zonu grada Hvara s pripradajućim vanjskim projektnim uvjetima, prema normi HRN EN 12831 i pomoću računalnog programa IntegraCAD. Analiza godišnje potrebne toplinske energije za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode vrši se s podacima za grad Split prema normi HRN EN ISO 13790 i pomoću računalnog programa KI Expert Plus.

Usporedbom tri sustava pripreme ogrjevnog i rashladnog medija:

- kotla na biomasu u kombinaciji sa rashladnikom vode
- dizalicom topline tlo-voda
- dizalicom topline zrak-voda

na temelju investicijskih i pogonskih troškova odabran je optimalni sustav.

Sustav grijanja predviđen je kao centralni toplovodni sustav sa prisilnom cirkulacijom gdje se za temeljno zagrijavanje prostorija koristi podno grijanje temperaturnog režima 35/30°C. Za zagrijavanje kupaoonica predviđeni su kupaoonski radijatori s temperaturama polaza i povrata 40/35°C. Za pokrivanje vršnih opterećenja zimi i hlađenje prostorija ljeti ugrađen je dvocijevni sustav ventilokonvektorskog grijanja/hlađenja. Za pripremu potrošne tople vode ugrađen je akumulacijski sustav sa bivalentnim spremnikom koji će se zagrijavati solarnim kolektorima, uz podršku dodatnog generatora topline. Također je predviđeno dogrijavanje vanjskog bazena solarnim sustavom kada neće biti potrebe za zagrijavanjem PTV-a.

Ključne riječi: grijanje, hlađenje, PTV, dizalica topline, solarni kolektori

## SUMMARY

With this thesis, a system for heating, cooling and hot water supply is designed, for a residential building in the area of Korčula according to the architectural background. The building consists of three apartments, one on the ground floor and two on the first floor with a total usable area of 212 m<sup>2</sup>.

By comparing three systems for heating and cooling:

- heating with a biomass boiler in combination with a water chiller
- ground to water heat pump
- air to water heat pump

based on investment and operating costs, choose the optimal system and elaborate it at the level of the main project.

The heating system is designed as a central heating system with forcible circulation, where floor heating operates with a 35/30°C. For bathroom heating, bathroom tubular radiators are foreseen, with operating temperatures 40/35°C. In order to cover the peak loads in winter and cooling the rooms in the summer, a two-pipe fancoil heating/cooling system is envisaged. For the preparation of DHW, a bivalent tank is envisaged for heating with solar collectors and with the support of an additional heat generator. It is also envisaged to warm up an outdoor swimming pool with a solar system when there is no need for DHW heating.

Calculation of the thermal load is done for the climate zone of the town Hvar with the external design conditions according to HRN EN 12831 and with the IntegraCAD computer program. The analysis of the annual required thermal energy for heating, cooling and preparation of hot water is done with the data for city of Split according to HRN EN ISO 13790 and using the KI Expert Plus computer program.

Key words: heating, cooling, DHW, heat pump, solar collector

## 1. UVOD

Potreba za grijanjem jedna je od osnovnih ljudskih potreba. Pod sustavom grijanja se podrazumijevaju svi elementi koji služe za grijanje prostora. Glavni dio sustava grijanja je izvor topline. Za prijenos toplinske energije od izvora do grijanih prostorija koristi se razvod, koji je sastavni dio centralnih sustava grijanja i njime se distribuira ogrjevni medij. Ogrjevni medij je radna tvar koja u centralnim sustavima grijanja služi za prijenos energije od izvora topline do ogrjevnih tijela smještenih u prostorijama. Ogrjevno tijelo je dio sustava grijanja koji služi za prijenos topline na prostoriju. Grijanjem prostorija može se utjecati na temperaturu zraka i temperaturu zidova no to nije dovoljno kako bi se postigla toplinska ugodnost u grijanom prostoru. Američko društvo inženjera sustava grijanja, hlađenja i klimatizacije (engl. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE) i Međunarodna organizacija za normizaciju (engl. International Organization for Standardization, ISO) u svojim normama definiraju toplinsku ugodnost kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem prostora. Osnovi faktori koji utječu na toplinsku ugodnost osoba u prostoru su:

- temperatura zraka u prostoriji
- temperatura plohe prostorija
- vlažnost zraka
- strujanje zraka
- razina odjevenosti
- razina fizičke aktivnosti
- ostali faktori (kvaliteta zraka, buka...)

Važno je spomenuti kako je toplinska ugodnost rezultat zajedničkog djelovanja svih navedenih faktora i pri promjeni jedne veličine, istu ili sličnu razinu ugodnosti moguće je održati samo uz promjenu i neke druge [6]. Za održavanje zadane toplinske ugodnosti i unutarnjih klimatskih uvjeta uz korištenje manje količine energije povezan je termin energetske učinkovitosti. Energetska učinkovitost u zgradarstvu prepoznata je u današnje vrijeme kao područje koje ima veliki potencijal smanjenja potrošnje energije. Utrošena energija u stambenim i nestambenim zgradama čini više od 40% ukupne potrošnje primarne energije u Hrvatskoj. Najznačajniji udio potrošnje energije u zgradama pripada grijanju,

kondicioniranju zraka i pripremi potrošne tople vode. S obzirom na prethodno navedeno, jasno je iz kojeg razloga ljudi sve više teže izgradnji kuća s niskom razinom potrošnje energije, niskoenergetskim kućama [11].

Niskoenergetske kuće u pravilu koriste kvalitetnu toplinsku izolaciju, kvalitetnu stolariju (trostruko staklo...), niske razine propuštanja zraka i rekuperaciju topline u ventilaciji, a sve u svrhu manje potrebne energije za grijanje i hlađenje. Smanjenje toplinskih gubitaka niskoenergetske kuće ostvaruje se na sljedeće načine: orijentacija kuće na jug, odvajanje toplinskih zona kuće (dnevna soba prema jugu, ostave na sjever), kompaktna gradnja, vrlo dobra izolacija cijelog oplošja kuće, prozori s troslojnim staklom, kontrolirana ventilacija prostorija s rekuperacijom topline, niskotemperaturni sustav grijanja itd. Važno je spomenuti da je za odabir optimalnog rješenja potrebno odrediti pravilan sustav grijanja.

Sustavi grijanja obiteljskih kuća mogu se podijeliti na sljedeće načine:

- prema energentu
- prema načinu zagrijavanja
- prema izvedbi ogrjevnih tijela

Podjela prema energentu temelji se na izvoru energije koji se koristi za pretvorbu u toplinu, a dijeli se na:

- električni
- plinski (zemni plin, ukapljeni naftni plin...)
- loživo ulje (ekstra lako loživo ulje, mazut...)
- kruta goriva (drvna sječka, peleti, ugljen...)
- toplina iz okoliša

S obzirom na podjelu prema načinu zagrijavanja postoje dva osnovna tipa:

- lokalno grijanje
- centralno grijanje [11]

Primjeri lokalnog grijanja su kamini, peći, štednjaci, električno podno grijanje...itd. Osnovna značajka ovakvih sustava je da nema razvoda koji bi distribuirao topline u druge prostorije, odnosno zagrijevaju se prostorije u kojima se nalazi toplinski izvor, a ostale prostorije

zagrijavaju se indirektno preko spomenute grijane prostorije. Osim lokalnog sustava grijanja postoji i centralno grijanje koje karakterizira jedan izvor topline najčešće smješten u kotlovnici ili strojarnici u kojem se priprema ogrjevni medij. Tako zagrijani ogrjevni medij (voda, para, zrak) distribuira se razvodom grijanja prema ostalim grijanim prostorijama. Primjer centralnog grijanja može biti toplovodno radijatorsko grijanje gdje je kotao smješten u kotlovnici, a ogrjevni medij se cirkulacijskim pumpama distribuira do ogrjevnih tijela u grijanom prostoru. Prednosti ovakvih sustava grijanja su smanjivanje broja ložišta i dimnjaka, a samim time i manje zagađivanje okoliša, povećana korisnost kotla s obzirom na kvalitetniju izvedbu sustava izgaranja.

Podjela sustava grijanja prema tipu ogrjevnih tijela temelji se na principu na koji se toplina predaje u prostor, a dijeli se na :

- izravni (kamin, peć...)
- radijatorski (pločasti, člankasti, kupaonski cijevni...)
- konvektorski
- ventilokonvektorski (zidni, kazetni, parapetni)
- površinski (podno, zidno, stropno)

Radijatori se mogu podijeliti na pločaste, člankaste i cijevne radijatore. Pločasti radijatori (Slika 2) izrađeni su od zavarenih čeličnih ploča. Prednja ploča predstavlja jedinstvenu površinu s mogućom izvedbom do 3 ploče u dubinu i uglavnom predaje toplinu u prostor zračenjem. Zadnja strana ploče odaje toplinu konvekcijom te se za povećanje izmjene topline ugrađuju konvektorski limovi koji oblikuju okomite kanale za strujanje zraka [6].



Slika 1: Pločasti radijator [8]

Člankasti radijator (Slika 3) izrađeni su od lijevanog željeza/alumuminija. Osnovni mehanizam izmjene topline je konvekcija. Radijatori se sastoje od većeg broja međusobno spojenih članaka. Toplinski učin najčešće je određen prema jednom članku tako da se potrebni učin kombinira spajanjem potrebnih broja članaka.



Slika 2: Člankasti radijator

Cijevni radijatori (Slika 4) su ogrjevnja tijela jednostavne konstrukcije izrađena od glatkih cijevi. Izvode se jednostruko (u obliku cijevnih spirala) ili kao cijevni registri (baterija paralelno spojenih cijevi), a osnovni mehanizam izmjene topline je konvekcija.

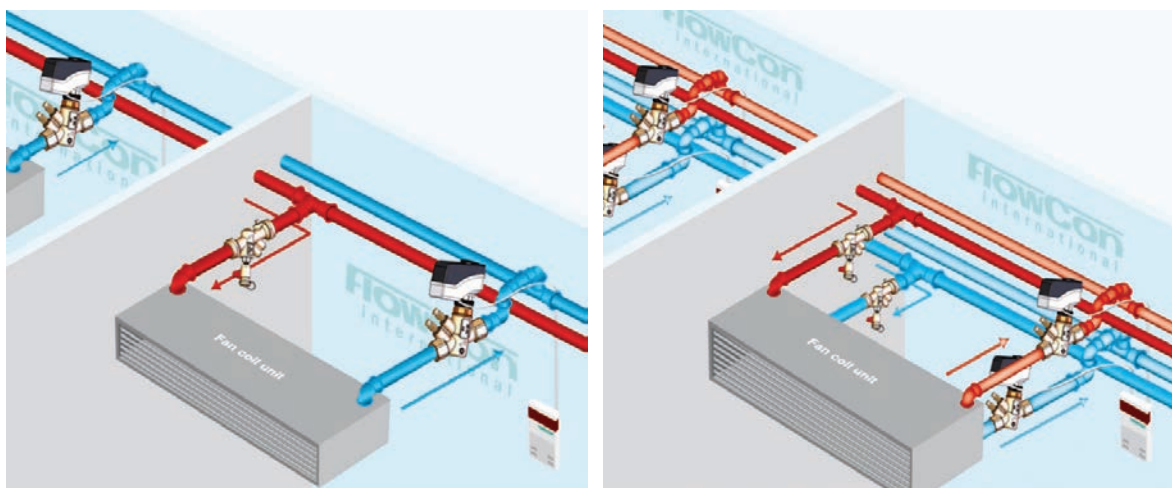


Slika 3: Kupaonski cijevni radijator



Ventilokonvektori (eng. fan coil) su uređaji koji se sastoje od izmjenjivača topline, ventilatora i filtera ugrađenih u jedno kućište. Izmjenjivač je pri tome izveden kao cijevni s lamelama (Cu-Al izmjenjivači) i unutar njega struji prijenosnik energije (voda). Ventilatorom se ostvaruje prisilno strujanje zraka iz prostorije preko izmjenjivačkih ploha, čime se zrak hladi ili grije, ovisno o tome struji li kroz izmjenjivač hladna ili topla voda.

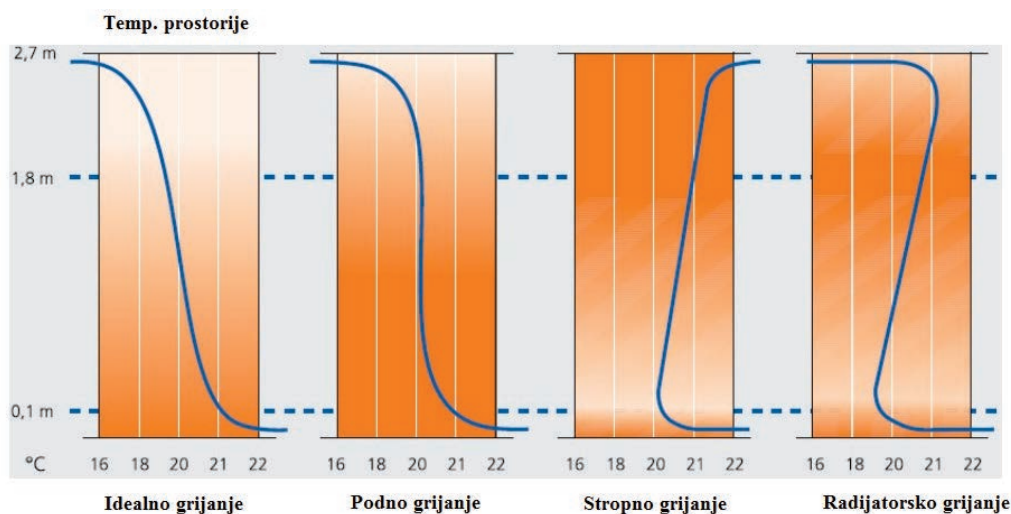
Za grijanje vode može poslužiti kotao, električni bojler, dizalica topline itd. Cjevovodi su najčešće bakreni, ali se u posljednje vrijeme koriste polietilenske cijevi s gotovim spojnim i prijelaznim elementima. Ventilokonvektor se na cjevovod najčešće spaja fleksibilnim spojem te se ugrađuju ventili za regulaciju toplinskog učina. Sustav može biti dvocijevni ili četverocijevni. Kod dvocijevnog se sustava postavljaju dvije cijevi - polazni i povratni vod, čime se ostvaruje cirkulacija tople ili hladne vode u zatvorenom krugu. Instalacija tada služi za sezonski rad: kada je potrebno hlađenje kroz cjevovod struji hladna voda, a kada je potrebno grijanje topla voda.



Slika 4: Dvocijevni i četverocijevni sustav ventilokonvektora [13]

Ventilokonvektori predviđeni za rad u dvocijevnom sustavu imaju samo jedan izmjenjivač topline kroz koji struji hladna ili topla voda. Četverocijevni sustavi imaju četiri cijevi - dva polazna voda i dva povratna voda (Slika 5), tj. poseban par vodova za toplu i hladnu vodu. U takvom je sustavu po želji moguće hlađenje ili grijanje. Takva instalacija i uređaji su skuplji, ali pružaju neovisnost rada u pojedinim zonama. [12].

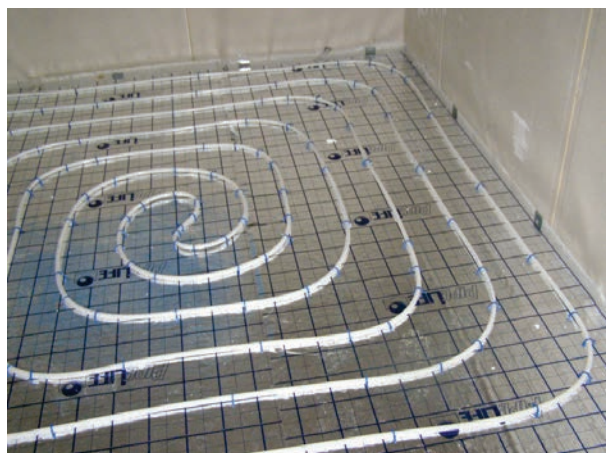
Podno grijanje upotrebljava se u novogradnji i postojećim zgradama (rekonstrukcije), školama, vrtićima, sportskim dvoranama, bolnicama, crkvama, proizvodnim halama i kao grijanje slobodnih površina za topljenje snijega i leda na kolnim prilazima. Podno grijanje s plastičnim cijevima načelno se može pokretati svim nosiocima energije; s krutim, tekućim ili plinovitim gorivima ili električnom strujom [9]. Podno grijanje predviđeno je za rad u niskotemperaturnom režimu i idealan je sustav u kombinaciji sa dizalicama topline. Čovjek je izložen neprestanoj izmjeni topline sa svojom okolinom. U normalnim okolnostima čovjek ima tjelesnu temperaturu od oko 37°C. Predaja topline to je veća, što je veća temperaturna razlika između površine tijela (temperatura kože cca. 32°-33° C) i temperature okoline. Kod podnog i površinskog grijanja zrak u prostoriji, a i okolne površine prostorije pretežno će se grijati zračenjem, a samo jednim manjim dijelom konvekcijom. To nužno vodi do daleko ravnomjernije profilirane temperature prostorije (Slika 6).



Slika 5: Profil temperature po visini prostorije [14]

Kod podnog grijanja temperatura zraka u prostoriji može se držati za 2-3°C nižom, bez narušavanja osjećaja ugone. Podni sustavi grijanja se dijele na mokre i suhe. Kod mokrih sustava cijevi leže iznad izolacijskog sloja u estrihu. Ogrjevnice cijevi pričvršćene su za podlogu i postavljaju se direktno na toplinsku izolaciju ili na ploču pripremljenu za to. Kod suhog sustava cijevi se postavljaju iznad sloja cementnog estriha. Prilikom projektiranja potrebno je paziti da pojedina petlja (Slika 7) ne prelazi duljinu od 120 m, pri čemu je maksimalna duljina jedne zone može iznositi 8 m, a maksimalna površina koju može pokrivati jedna petlja je 40 m<sup>2</sup>, također preporuča se da brzina medija u cijevima ne prelazi 1 m/s, u suprotnome bi nastala buka koja bi negativno utjecala na kvalitetu boravka u prostoriji.

Također treba paziti na postavljanje dilatacijskih traka kako bi se izbjeglo puknuće estriha prilikom promjena temperature poda.



Slika 6: Petlja podnog grijanja [15]

Za slučaj kada su potrebni dilatacijski spojevi, npr. ispod pragova vrata, cijevi koje prolaze kroz dilatacijski spoj treba uvući u zaštitnu cijev (bužir). Nakon toga se dilatacijski spoj izvodi lijepljenjem posebne ravne dilatacijske T-trake na foliju na mjestu gdje nema ploče za pozicioniranje cijevi. T-traka je visoka 100 mm, debela 10 mm i izrađena je od PE spužve.

## **1.1 Toplinska energija iz obnovljivih izvora energije**

Priroda nam nudi brojne mogućnosti za ekološki prihvatljivu proizvodnju toplinske energije. Korištenjem prirodnih izvora energije, dizalice topline pridonose značajnoj uštedi na troškovima grijanja. Dizalice topline rade učinkovito i na niskim temperaturama. Do 75% potreba za grijanjem mogu se dobiti izravno iz okoliša, a tek 25% energije treba dodati u obliku električne energije. Neke od prednosti korištenja obnovljivih izvora su smanjena emisija CO<sub>2</sub>, neiscrpní izvori energije i niski troškovi grijanja i hlađenja.

### **1.1.1 Geotermalna energija**

Dizalice topline mogu koristiti geotermalnu energiju na dva načina: postavljanjem površinskih kolektora na dubini od cca. 1,5 metara te postavljanjem bušotinskih sondi (Slika 8). Postavljanje površinskih kolektora pogodno je za kuće s relativno velikom površinom okućnice u odnosu na grijanu zgradu.



Slika 7: Geotermalna sonda i vodoravno kolektorsko polje [16]

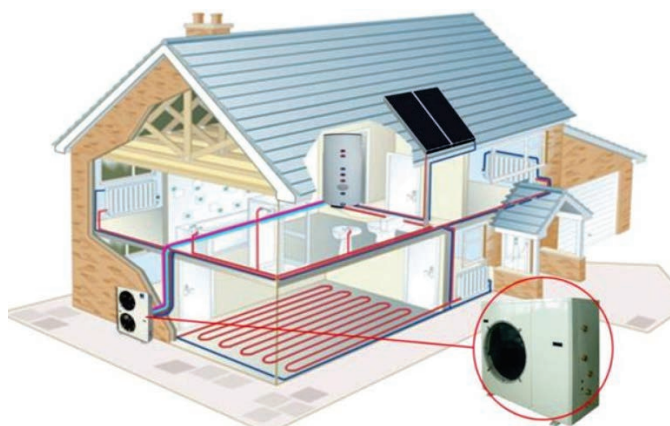
Ukoliko površina okućnice nije odgovarajuće veličine, moguće je koristiti toplinu na relativno malo prostora postavljanjem bušotinskih sonda koje se postavljaju do dubine od 100 metara. Temperatura tijekom cijele godine kreće se u rasponu od 7 do 13°C što je velika prednost zemlje kao izvora topline.

Preduvjeti za korištenje geotermalne topline:

- velika površina okućnice sa slobodnim pristupom ( površinski kolektori)
- eventualno treba zatražiti posebne dozvole

### 1.1.2 Zrak iz okoliša kao izvor energije

Dizalice topline koriste zrak iz okoliša te pohranjenu energiju u zraku koriste za podizanje toplinske energije s niže temperaturne razine na višu temperaturnu razinu, prihvatljivu za primjenu u odgovarajućem sustavu grijanja. (Slika 9).



Slika 8: Dizalica topline sa zrakom kao izvorom energije [17]

Prednosti korištenja energije iz zraka:

- ne zahtijeva posebne dozvole
- najniži investicijski troškovi

### 1.1.3 Podzemne vode kao izvor energije

Dizalice topline mogu koristiti toplinu pohranjenu u podzemnim vodama čija je temperatura relativno stabilna (Slika 10), bez obzira na godišnje doba i vanjske temperature. Ukoliko postoji mogućnost, korištenje podzemnih voda putem bunara može biti vrlo efikasno. Podzemne vode smatraju se kao najizdašniji izvor toplinske i rashladne energije zbog temperature tijekom ljeta i zime u granicama od 9 do 14 °C.



Slika 9: Dizalica topline sa podzemnom vodom kao izvorom energije [16]

Prednosti korištenja podzemnih voda:

- dobro skladištenje topline: održava se stabilna temperatura u granicama od 9 do 14 °C čak i tijekom zimskih dana [7]



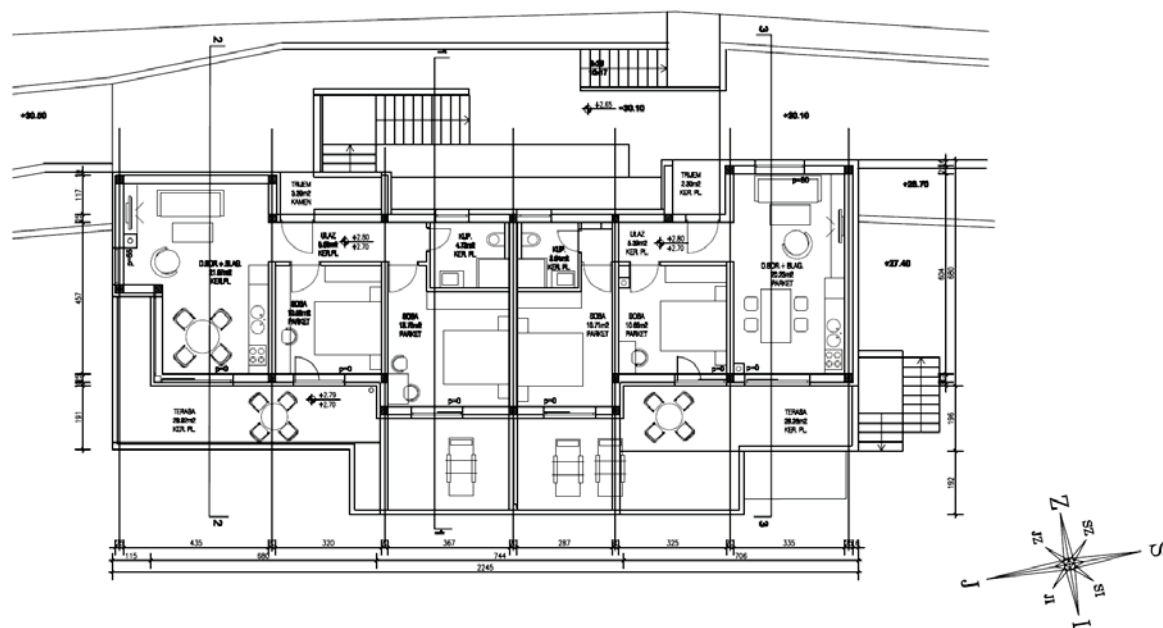
## 2. OPIS ZGRADE

Stambena zgrada (Slika 11) nalazi se na otoku Korčuli i sastoji se od 3 etaže, Podrum (Slika 12) + Prizemlje (Slika 13) + Kat (Slika 14). Namjena zgrade je za stanovanje s jednim apartmanom u prizemlju i dva apartmana na katu. Apartman 1 sastoji se od 3 spavaće sobe, dnevnog boravka, blagovaone, kuhinje, 2 kupaonice, predsoblja i ostave. Apartmani 2 i 3 na prvom katu sastoje se od 2 spavaće sobe, dnevnog boravka, kupaonice i ulaznog hodnika. U podrumu je predviđen prostor za smještaj strojarske opreme. Koeficijenti prolaza topline odabrani su tako da zgrada ima toplinsko opterećenje ispod  $50\text{W/m}^2$  s čime su zadovoljeni maksimalni dopušteni koeficijenti iz Tehničkog propisa. Vanjski gabariti zgrade su ( $\text{š} \times \text{d} \times \text{v}$ )  $11,0 \times 7,0 \times 10 \text{ m}$ , dok je korisna površina  $212 \text{ m}^2$ . Na parceli se također nalazi vanjski bazen dimenzija ( $\text{š} \times \text{d} \times \text{v}$ )  $11,0 \times 4,0 \times 2,0 \text{ m}$ .



Slika 10: Prikaz stambene zgrade





Slika 13: Tlocrt kata



### 3. PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI ZGRADE - HRN EN 12831

Za dimenzioniranje opreme sustava grijanja potrebno je napraviti proračun toplinskih gubitaka zgrade. Projektni toplinski gubici računaju se za svaku grijanu prostoriju te se naknadno sumiraju u ukupne gubitke koje je potrebno pokriti sustavom grijanja. Proračun se provodi prema normi HRN EN 12831, koja definira proračun potrebnog toplinskog učina za održavanje unutarnje projektne temperature prostorije pri vanjskim projektnim uvjetima. Vanjski projektni uvjeti nisu definirani u normi nego se uzimaju zavisno o lokaciji zgrade. Proračun projektnih toplinskih gubitaka napravljen je u računalnom programu IntegraCAD 2017.

Projektni toplinski gubici prostorije jednaki su sumi projektnih transmisijskih gubitaka i projektnih ventilacijskih gubitaka, a računaju se prema:

$$\Phi_G = \Phi_T + \Phi_V$$

gdje su:

- $\Phi_T$  - projektni transmisijski gubici (W)
- $\Phi_V$  - projektni ventilacijski gubici (W)

Transmisijski gubici su gubici uslijed izmjene topline iz prostorije kroz građevne elemente prema prostoru niže temperature, prema vanjskom okolišu, susjednim negrijanim prostorijama, susjednim prostorijama grijanim na nižu temperaturu te prema tlu. Za određivanje ukupnih transmisijskih gubitaka grijanog prostora koristi se sljedeća formula:

$$\Phi_T = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_i - \theta_e)$$

gdje su:

- $H_{T,ie}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu (W/K)

- $H_{T,iue}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu (W/K)
- $H_{T,ig}$  - stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu (W/K)
- $H_{T,ij}$  - koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu različitu temperaturu (W/K)
- $\theta_i$  - unutarnja projektna temperatura (°C)
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura (°C)

Ventilacijski gubici su toplinski gubici zraka kroz ovojnicu zgrade i između pojedinih njezinih dijelova, odnosno prostorija, te prisilno dovodenje zraka. Za određivanje ventilacijskih gubitaka koristi se sljedeća formula:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} * (\theta_i - \theta_e)$$

gdje su:

- $H_{V,i}$  - koeficijent ventilacijskih gubitaka (W/K)
- $\Phi_{V,i}$  - ventilacijski gubici prostora (W)
- $\theta_i$  - unutarnja projektna temperatura grijanog prostora (°C)
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura (°C)

Koeficijent ventilacijskih gubitaka uzima u obzir protok zraka kroz prostoriju kao i gustoću i specifični kapacitet zraka, a računa se prema:

$$H_{V,i} = V_i * \rho * c_p$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća zraka (kg/m<sup>3</sup>)
- $c_p$  - specifični toplinski kapacitet zraka (kJ/kgK)
- $V_i$  - protok zraka kroz grijani prostor (m<sup>3</sup>/s)

U objektima bez projektiranog ventilacijskog sustava se pretpostavlja da zrak koji ulazi u zgradu ima toplinska svojstva vanjskog zraka. Protok zraka u takvim zgradama, koji se koristi

za proračun toplinskih gubitaka je veća vrijednost između infiltracijskog protoka kroz zazor i minimalnog broja izmjena zraka, odnosno:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i})$$

gdje su:

- $V_{inf,i}$  - protok zraka infiltracijom kroz zazor i rupe u ovojnici zgrade

$$V_{inf,i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \varepsilon_i$$

- $V_{min,i}$  - minimalni broj izmjena zraka u zgradi

$$V_{min,i} = n_{min} * V_i$$

gdje su:

- $V_i$  - volumen grijanog prostora prema unutarnjim dimenzijama ( $m^3$ )
- $n_{50}$  - izmjena zraka po satu uzrokovana razlikom tlaka od 50 Pa između grijanog prostora i vanjskog okoliša
- $e_i$  - koeficijenti zaštićenosti objekta, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenosti zgrade i broj otvora prema okolini
- $\varepsilon_i$  - korekcijski faktor za visinu
- $n_{min}$  - minimalni broj izmjena zraka u prostoriji ( $h^{-1}$ )

S obzirom da se sustav grijanja projektira za zgradu na području grada Korčule, potrebni podaci za proračun preuzimaju se sa najbliže meteorološke postaje odnosno koriste se meteorološki podaci s postaje na otoku Hvaru. Vanjska projektna temperatura i projektne unutarnje temperature u grijanim prostorijama su:

- vanjska projektna temperatura za Hvar  $\theta_e = -2^\circ C$
- unutarnja temperatura (dnevni boravak, spavaće sobe, hodnici),  $\theta_i = 20^\circ C$
- unutarnja temperatura kupaoonica,  $\theta_i = 24^\circ C$

### 3.1 Rezultati proračuna

Tablicom 1. prikazani su građevni elementni sa pripadajućim koeficijentima.

Građevni element	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Vanjski zid	0,2	0,45
Zid prema negrijanom prostoru	0,4	0,6
Unutarnji zid	0,6	0,8
Pod na tlu	0,3	0,5
Zid prema tlu	0,4	0,5
Strop prema negrijanom prostoru	0,4	0,6
Strop iznad vanjskog zraka	0,2	0,3
Ravni krov	0,2	0,3
Prozor	1,1	1,8
Vanjska vrata	1,4	2,4
Unutarnja vrata	1,4	2,4

Tablica 1: Korišteni i maksimalno dopušteni koeficijenti prolaza topline

U nastavku je prikazan detaljniji proračun transimijjskih gubitaka za jednu prostoriju u zgradi. Tablicom 2. su prikazani rezultati za svaku plohu proračunate prostorije, dnevni boravak u prizemlju sa površinom od 27 m<sup>2</sup> i volumenom 68,4 m<sup>3</sup>.

Građevni element	Stijena prema	Or.	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	θ (°C)	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
Prozor P1	okolici	I	1,20	1,50	1,80	1,100	- 2	1,980	43
Vanjski zid 1	okolici	I	3,18	2,71	6,82	0,200	- 2	1,364	30
Vanjski zid 1	okolici	S	1,20	2,71	3,24	0,200	- 2	0,648	14
Vrata unutarnja	gr. prostoriji	Z	1,00	2,00	2,00	1,400	18	0,255	5
Unutarnji zid 20/18°C	gr. prostoriji	Z	1,02	2,71	0,77	0,600	18	0,042	0
Strop prema negrijanom	negr. prostoriji	hor.	9,01	1,00	9,01	0,400	5	2,457	54
Pod na tlu	zemlji (pod)	hor.	18,00	1,00	18,00	0,300	- 2	0,764	16
Ravni prohodni krov	okolici	hor.	6,82	1,00	6,82	0,200	- 2	1,364	30
Strop prema grijanom	gr. prostoriji	hor.	20,19	1,00	20,19	0,600	10	5,506	121
Ukupni transmisijjski gubici									316

Tablica 2: Transmisijjski gubici prostorije

Na osnovu volumena prostorije i minimalnog broja izmjene zraka proračunati su ventilacijski gubici u iznosu  $\phi_v=256$  W. Ukupni projektni gubici prostorije iznose  $\phi_n=572$  W.

Na temelju prethodnog proračuna, izračunati su transmisijski i ventilacijski projektni gubici za cijelu zgradu i prikazani su Tablicom 3.

Oznaka	Prostorija	A [m <sup>2</sup> ]	$\vartheta_u$ [°C]	$\phi_n$ [W]	$\phi_T$ [W]	$\phi_v$ [W]
<b>Apartman 1</b>						
P1	Predsooblje	6	20	179	117	62
P2	Prostorija	3	20	20	20	0
P3	Kupaona 1.2	6	24	314	105	209
P4	Kupaona 1.3	8	24	404	123	281
P5	Spavaća soba 1.5	18	20	387	211	176
P6	Spavaća soba 1.6	18	20	519	344	175
P7	Spavaća soba 1.7	11	20	339	228	111
P8	Dnevni boravak	27	20	572	316	256
P9	Kuhinja	17	20	737	234	503
P11	Blagovaona	11	20	519	406	113
<b>Apartman 1</b>	<b>Ukupno</b>	<b>125</b>	<b>-</b>	<b>3990</b>	2104	1886
<b>Apartman 2</b>						
P1	Dnevni boravak	28	20	1009	686	323
P2	Hodnik	7	20	264	179	85
P3	Kupaona	6	24	411	155	256
P4	Spavaća soba	16	20	395	209	186
P5	Spavaća soba	12	20	376	230	146
<b>Apartman 2</b>	<b>Ukupno</b>	<b>69</b>	<b>-</b>	<b>2455</b>	1459	996
<b>Apartman 3</b>						
P6	Kupaona	5	24	341	134	207
P7	Hodnik	5	20	192	131	61
P8	Dnevni boravak	26	20	804	498	306
P9	Spavaća soba	12	20	316	168	148
P10	Spavaća soba	14	20	370	203	167
<b>Apartman 3</b>	<b>Ukupno</b>	<b>62</b>	<b>-</b>	<b>2023</b>	1134	889
<b>Zgrada</b>	<b>Ukupno</b>	<b>256</b>		<b>8468</b>	4697	3771

Tablica 3: Rezultati proračuna za zgradu

Ukupni toplinski gubici za cijelu zgradu proračunati prema HRN EN 12831 iznose 8468 W te se ta vrijednost koristi za dimenzioniranje izvora topline sustava grijanja.

#### 4. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA VDI 2078

Proračun rashladnog učina za stambenu zgradu na području otoka Korčule provodi se prema VDI 2078. Vrijednost unutarnje projektne temperature iznosi 25°C za sve prostorije osim kupaoalice, odnosno sve prostorije koje se hlade. Rezultati proračuna toplinskog opterećenja su za svaku prostoriju i za zgradu u cijelosti (Tablica 4.)

<b>Apartman 1</b>			
	<b>Qsuho (W)</b>	<b>Qvlažno (W)</b>	<b>Qukupno (W)</b>
P1 Predsoblje	0	0	0
P2 Prostorija	0	0	0
P3 Kupaona 1.3	0	0	0
P4 Kupaona 1.4	0	0	0
P5 Spavaća soba 1.5	335	64	399
P6 Spavaća soba 1.6	675	58	733
P7 Spavaća soba 1.7	682	58	740
P8 Dnevni boravak	704	116	820
P9 Kuhinja	768	153	921
P10 Blagovaona	1544	116	1660
<b>Apartman 1 - Ukupno</b>	<b>4708</b>	<b>565</b>	<b>5273</b>
<b>Apartman 2</b>			
	<b>Qsuho (W)</b>	<b>Qvlažno (W)</b>	<b>Qukupno (W)</b>
Dnevni boravak	1833	123	1956
Hodnik	141	32	173
Kupaona	0	0	0
Spavaća soba 2.4	734	58	792
Spavaća soba 2.5	725	58	783
<b>Apartman 2 - Ukupno</b>	<b>3433</b>	<b>271</b>	<b>3704</b>
<b>Apartman 3</b>			
	<b>Qsuho (W)</b>	<b>Qvlažno (W)</b>	<b>Qukupno (W)</b>
Kupaona	0	0	0
Hodnik	66	0	66
Dnevni boravak	894	0	894
Spavaća soba 3.4	752	58	810
Spavaća soba 3.5	765	58	823
<b>Apartman 3 - Ukupno</b>	<b>2477</b>	<b>116</b>	<b>2593</b>
<b>Zgrada - Ukupno</b>	<b>10618</b>	<b>952</b>	<b>11570</b>

Tablica 4: Toplinsko opterećenje

Toplinsko opterećenje pojedinih prostorija koristi se za dimenzioniranje ventilokonvektora za hlađenje prostora. Ukupan zbroj vršnih toplinskih opterećenja svih prostorija u zgradi iznosi 11.570 W međutim dizalica topline ne smije se odabirati prema toj vrijednosti. Razlog tome leži u činjenici da se prethodna opterećenja neće dogoditi u svim prostorijama istovremeno. Stoga je potrebno odrediti ukupno toplinsko opterećenje koje će se pojaviti u najnepovoljnijem trenutku.

Datum	21. Lipanj	23. Srpanj	24. Kolovoz	22. Rujan
Sat	9	9	9	9
Ukupno (W)	10018	<b>10496</b>	10148	9267

Tablica 5: Vršna opterećenja projektnog dana u mjesecu

Iz Tablice 5. vidljivo je da najveća potreba za hlađenjem iznosi 10.496 W i pojavljuje se 23. srpnja u 09:00 h, te se ta vrijednost koristi za dimenzioniranje dizalice topline.

## 5. PRORAČUN GODIŠNJE POTREBNE TOPLINSKE ENERGIJE ZA GRIJANJE $Q_{H,ND}$ I HLAĐENJE $Q_{C,ND}$ PREMA HRN EN ISO 13790

Proračun godišnje potrebne toplinske energije napravljen je u računalnom programu KI Expert Plus koji prati Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790. Algoritam se temelji na sumiranju ukupnih gubitaka i dobitaka toplinske energije tokom cijele godine, ovisno o periodu grijanja ili hlađenja. Mjesečnom metodom, godišnja potrebna toplinska energija za grijanje računa se prema:

$$Q_{H,nd} = (Q_{Tr} + Q_{Ve}) - \eta_{H,gn} * Q_{H,gn}$$

gdje su:

- $Q_{Tr}$  - izmjenjena toplinska energija transmisijom (kWh)
- $Q_{Ve}$  - potrebna toplinska energija za ventilaciju (kWh)
- $\eta_{H,gn}$  - stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka kod grijanja
- $Q_{H,gn}$  - toplinski dobici od ljudi, uređaja, rasvjete i sunčevog zračenja (kWh)

Godišnja potrebna toplinska energija za hlađenje računa se prema:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} * Q_{C,ht}$$

- $Q_{C,gn}$  - ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja (kWh)
- $\eta_{C,ls}$  - faktor iskorištenja toplinskih dobitaka kod hlađenja
- $Q_{C,ht}$  - ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu hlađenja (kWh)

### 5.1 Ulazni parametri

Zgrada je računata kao jedna grijana/hlađena zona te su rezultati prikazani na razini cijele zgrade. Osnovi podaci o zgradi prikazani su u Tablici 6.



Oplošje grijanog dijela zgrade	A	685,93	[m <sup>2</sup> ]
Obujam grijanog dijela zgrade	V <sub>e</sub>	745,00	[m <sup>3</sup> ]
Obujam grijanog zraka	V	566,20	[m <sup>3</sup> ]
Faktor oblika zgrade	f <sub>0</sub>	0,92	[m <sup>-1</sup> ]
Ploština korisne površine	A <sub>K</sub>	212,00	[m <sup>2</sup> ]
Površina kondicionirane (grijane i hladene) zone računate s vanjskim dimenzijama	A <sub>f</sub>	265,00	[m <sup>2</sup> ]
Ukupna ploština pročelja	A <sub>uk</sub>	468,22	[m <sup>2</sup> ]
Ukupna ploština prozora	A <sub>wuk</sub>	60,20	[m <sup>2</sup> ]

Tablica 6: Ulazni podaci

Potrebno je razdvojiti različite tipove zidova i otvora te ih razvrstati prema orijentaciji. U Tablici 7. prikazane su površine s pripadajućim koeficijentima prolaza topline, a u Tablici 8., tip i površine otvora s pripadajućom orijentacijom.

Naziv građevnog dijela	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Vanjski zid VZ1	232,54	0,20
Zid prema tlu	42,84	0,40
Pod na tlu	83,82	0,30
Strop prema negrijanom prostoru	46,42	0,40
Strop iznad vanjskog zraka	44,63	0,20
Krov	175,48	0,20

Tablica 7: Podaci o građevnim elementima

Tip otvora	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> ]	Orijentacija	A <sub>w</sub> [m]	n
Prozor P1	1,30	Istok	1,00	35,62
Prozor P1	1,30	Zapad	1,00	3,50
Prozor P1	1,30	Sjever	1,00	2,07
Prozor P1	1,30	Jug	1,00	13,01
Vrata unutarnja VU	2,00	Zapad	1,00	4,00
Vrata unutarnja VU	2,00	Jug	1,00	2,00

Tablica 8: Podaci o otvorima za zgradu

## 5.2 Rezultati proračuna

U Tablici 9. prikazani su dobiveni koeficijenti transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu, prema tlu, prema negrijanom prostoru, ukupna vrijednost transmisijskih gubitaka i koeficijent ventilacijskih gubitaka.

$H_D$ [W/m]	170,99
$H_{g,avg}$ [W/m]	30,951
$H_U$ [W/m]	0,000
$H_{tr}$ [W/m]	201,94
$H_{ve}$ [W/m]	136,90

Tablica 9: Koeficijenti transmisijske i ventilacijske izmjene topline

U Tablici 10. prikazana je ukupna godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje te potrebna energija po  $m^2$  korisne površine zgrade.

$Q_{H,nd}$ [KWh/a]	1666,10
$Q''_{H,nd}$ [KWh/m <sup>2</sup> a]	7,86
$Q_{C,nd}$ [KWh/a]	13592,48
$Q''_{C,nd}$ [KWh/m <sup>2</sup> a]	64,12

Tablica 10: Izračunata godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje

Razlog tako velikom odstupanju potrebne energije za grijanje i hlađenje ( $Q_{H,nd}=1666,1$  kWh;  $Q_{C,nd}=13592,48$  kWh) je u činjenici da iako toplinska izolacija u periodu grijanja pomaže zadržavanju topline unutar grijanog prostora, ona u periodu hlađenja odmaže odvođenju topline. Toj razlici dodatno doprinosi to što se kuća nalazi u primorskoj Hrvatskoj sa nešto manjim brojem dana sezone grijanja.

## 6. ODABIR OPTIMALNOG RJEŠENJA SUSTAVA GRIJANJA, HLAĐENJA I PRIPREME PTV-A

Za određivanje energetski optimalnog rješenje uspoređena su tri izvora topline za pripremu ogrjevnog i rashladnog medija i to:

- Kotao na biomasu u kombinaciji s rashladnikom vode
- Dizalica topline tlo/voda
- Dizalica topline zrak/voda

Sva tri proračuna provedena su računalnim softverom KI Expert Plus.

### 6.1 Kotao na biomasu (drvena sječka)

Kao prvo moguće rješenje predviđen je kotao na drvnu sječku s automatskim punjenjem i ventilatorskim plamenikom. Kotao sa pripadajućom regulacijskom opremom i cirkulacijskim pumpama je smješten u strojarnici koja se smatra negrijanim prostorom u podrumu. Cijevni razvod kruga grijanja je dvocijevni te se sustav smatra hidraulički uravnoteženim. Iz razloga što su toplinski gubici zgrade relativno mali temperaturni režim grijanja predviđen je sa temperaturama polaza i povrata 35/30°C. Kotao se osim za grijanje prostora koristi i za dogrijavanje PTV-a u mjesecima kada nema dovoljno toplinske energije sa solarnog sustava. Rezultati provedeni računalnim programom za kotao na biomasu kao izvorom topline prikazani su u Tablici 11:

Energent	Svrha / Potrošač	$Q_{\text{gen,in}}$ [kWh]	$E_{\text{del}}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{\text{prim}}$ [kWh]
Drvena sječka	Kotao na biomasu	2381,59	2407,65	0,154	387,55
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	-	63,14	0,798	50,38
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	-	-	0,798	-
Drvena sječka	Dogrijavanje PTV	3143,9	3929,9	0,154	484,16

Tablica 11. Isporučena i primarna energija sustava grijanja (kotao na biomasu)

## 6.2 Dizalica topline tlo - voda

Kao drugo rješenje izvora topline razmatrana je opcija dizalice topline tlo - voda nazivne snage 16 kW. Dizalica topline sa pripadajućom regulacijskom opremom i cirkulacijskim pumpama je smještena u strojarnici koja se smatra negrijanim prostorom u podrumu objekta. Cijevni razvod kruga grijanja je dvocijevni te se sustav smatra hidraulički uravnoteženim. Temperaturni režim i u slučaju dizalice topline također je predviđen sa temperaturama polaza i povrata 35/30°C. Dizalica topline koristi se za grijanje i hlađenje prostora te za dogrijavanje PTV-a u mjesecima kada nema dovoljno toplinske energije sa solarnog sustava. Rezultati provedeni računalnim programom za dizalicu topline sa tлом kao izvorom topline prikazani su u Tablici 12:

Energent	Svrha / Potrošač	$Q_{\text{gen,in}}$ [kWh]	$E_{\text{del}}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{\text{prim}}$ [kWh]
Električna energija	DT tlo-voda	2043,48	476,82	0,798	380,51
Električna	Podsustav razvoda grijanja	-	67,77	0,798	54,08
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	-	-	0,798	-
Električna energija	Dogrijavanje PTV	3143,9	1218,57	0,798	972,42

Tablica 12. Isporučena i primarna energija sustava grijanja (DT tlo-voda)

## 6.3 Dizalica topline zrak - voda

Kao treće rješenje izvora topline razmatrana je opcija dizalice topline zrak - voda nazivne snage 16 kW. Dizalica topline sa pripadajućom regulacijskom opremom i cirkulacijskim pumpama je smještena u strojarnici koja se smatra negrijanim prostorom u podrumu objekta. Cijevni razvod kruga grijanja je dvocijevni te se sustav smatra hidraulički uravnoteženim. Temperaturni režim također je predviđen sa temperaturama polaza i povrata 35/30°C. Dizalica topline koristi se za grijanje i hlađenje prostora te za dogrijavanje PTV-a u mjesecima kada nema dovoljno toplinske energije sa solarnog sustava. Rezultati provedeni računalnim programom za dizalicu topline sa zrakom kao izvorom topline prikazani su u Tablici 13:

Energent	Svrha / Potrošač	$Q_{\text{gen,in}}$ [kWh]	$E_{\text{del}}$ [kWh]	Faktor $f_p$	$E_{\text{prim}}$ [kWh]
Električna energija	DT zrak-voda	2082,40	628,64	0,798	501,65
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	-	67,77	0,798	54,08
Električna energija	Podsustav predaje grijanja	-	-	0,798	-
Električna energija	Dogrijavanje PTV	3143,9	1699,42	0,798	1356,14

Tablica 13. Isporučena i primarna energija sustava grijanja (dizalica topline zrak-voda)

#### 6.4 Usporedba sustava grijanja hlađenja i pripreme PTV-a

Uzimajući u obzir investicijske i pogonske troškove u periodu od 10 godina, napravljena je usporedba navedenih sustava. Rezultati usporedbe prikazani na Slici 16. pokazuju približno jednake troškove kotla na biomasu i dizalice topline zrak-voda, ali zbog jednostavnijeg načina uporabe, i lakšeg održavanja odabran je sustav sa dizalicom topline zrak-voda kao optimalno rješenje sustava grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a.

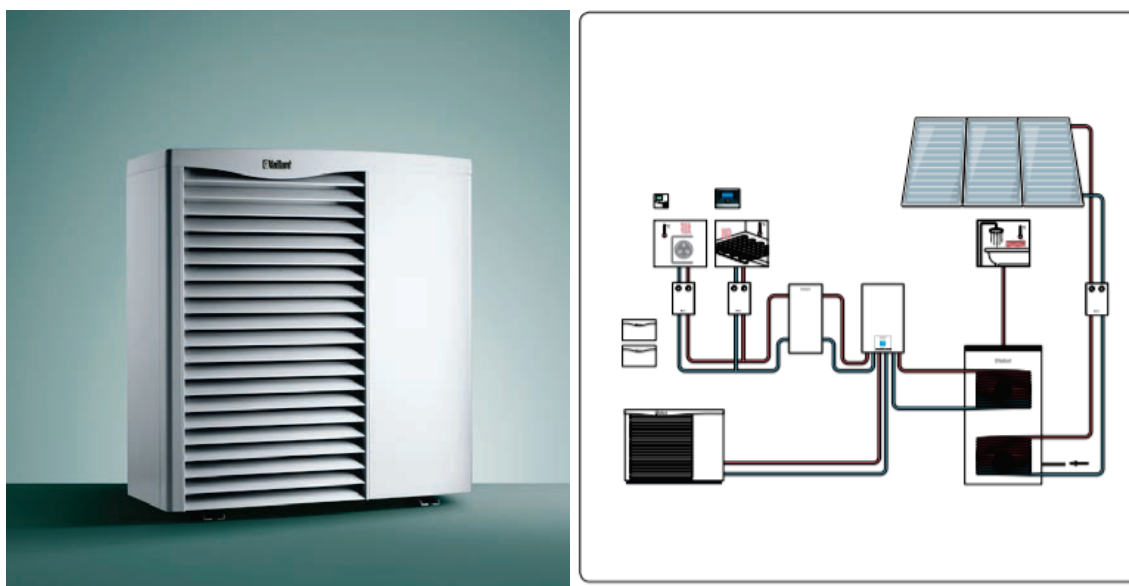


Slika 14: Usporedba troškova termotehničkih sustava [18]

## 7. ODABIR TERMOTEHNIČKE OPREME

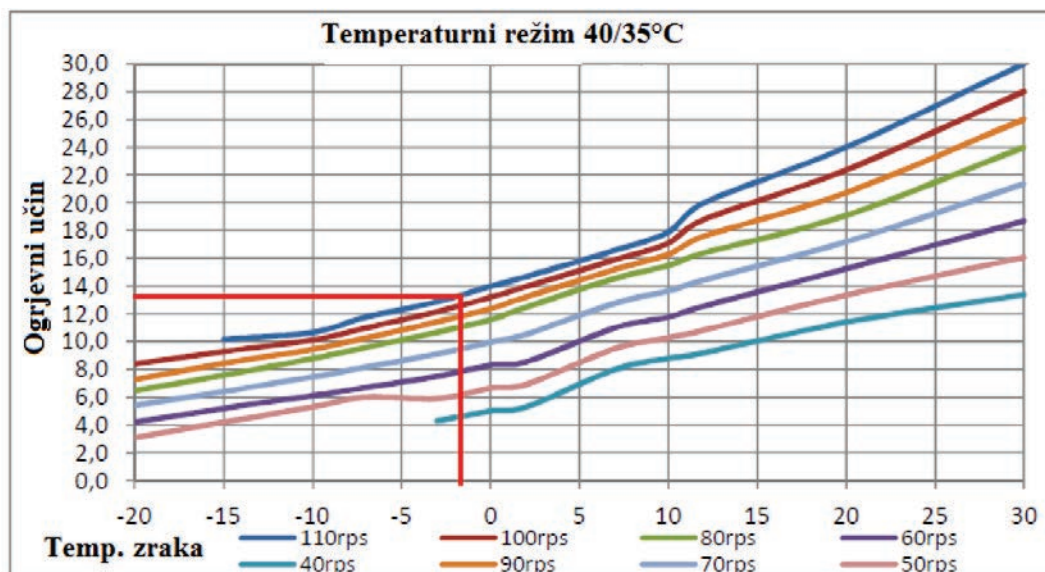
### 7.1 Dizalica topline zrak - voda

Dizalica topline koristi se za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode (PTV). S obzirom da predmetna zgrada ima veće toplinsko opterećenje u odnosu na toplinske gubitke ( $\phi_{hl}=10.496 \text{ W}$ ,  $\phi_{gr}=8.468 \text{ W}$ ) odabir odgovarajuće dizalice topline vrši se prema rashladnom kapacitetu. Odabrana je dizalica topline proizvođača Vaillant tip aroTHERM VWL 155/2 A (Slika 17). Dizalica topline aroTHERM namijenjena je za grijanje i hlađenje prostora te pripremu potrošne tople vode.



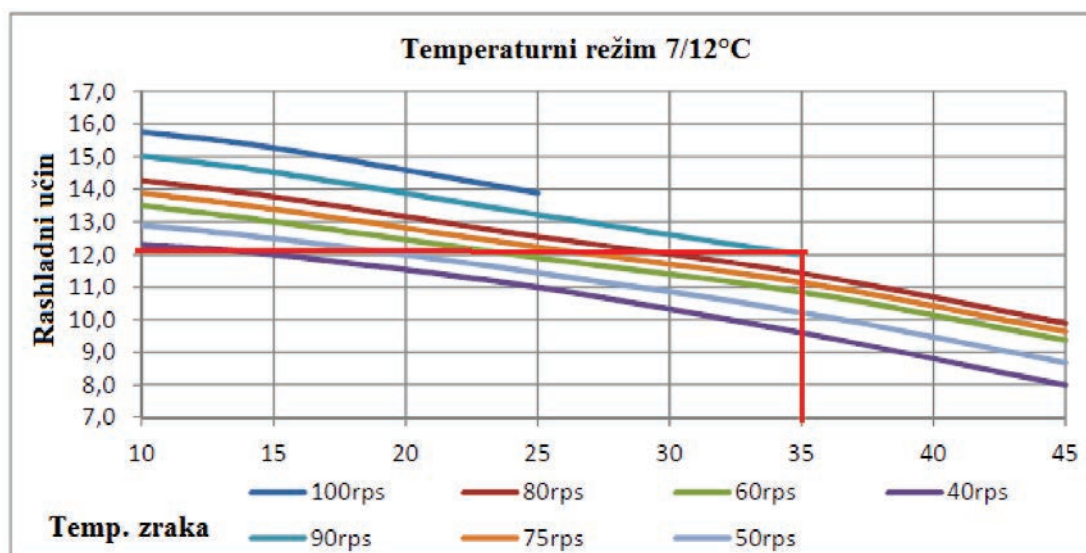
Slika 15: Dizalica topline Vaillant aroTHERM [7]

Kako bi se dizalice topline raznih proizvođača mogle uspoređivati, uvedena je norma prema kojoj se ispituje. Uvjet nalaže da se radni parametri dizalice topline prikažu za temperaturu okoliša  $+7^{\circ}\text{C}$ . S obzirom da je na lokaciji zgrade projektna vanjska temperatura  $-2^{\circ}\text{C}$ , potrebno je provjeriti može li odabrana dizalica topline isporučiti potrebnu toplinsku energiju dobivenu proračunom. Na Slici 18. prikazan je ogrjevni učin koji dizalica topline može isporučiti u ovisnosti o vanjskoj temperaturi.



Slika 16: Ogrjevni učin dizalice topline u ovisnosti o vanjskoj temperaturi [7]

Iz slike je vidljivo da pri vanjskoj temperaturi od -2°C dizalica topline može isporučiti 13,0 kW ogrjevnog učina što zadovoljava potrebni učin od 8,47 kW. Također je važno provjeriti zadovoljava li dizalica topline u periodu hlađenja s obzirom da su parametri prikazani za temperaturni režim 7/12°C, a potrebni su nam podaci za režim 12/16°C.



Slika 17: Rashladni učin dizalice topline u ovisnosti o temperaturnom režimu [7]

S obzirom da su dostupni podaci za temperaturni režim 7/12°C (Slika 19) te da je pritom dizalica topline u mogućnosti isporučiti 12 kW rashladnog učina (potrebno  $\phi_{hl}=10,5$  kW), možemo zaključiti da dizalica topline zadovoljava i u pogledu rashladnog učina.

Tehničke karakteristike dizalice topline aroTHERM VWL 155/2 prikazane su u nastavku:

<b>aroTHERM</b>	<b>VWL 155/2 A</b>
• Električni priključak	230 V / 400 V / 50 Hz
• Ogrjevni učin A-2/W35	13,0 kW
• Faktor grijanja COP	3,0
• Rashladni učin A35/W12	>12,0 kW
• Faktor hlađenja EER	2,8
• Temperatura zraka min. (grijanje)	-20°C
• Temperatura zraka min. (hlađenje)	10°C
• Tip kompresora	rotacijski
• Radna tvar	R410A
• Širina	1103 mm
• Visina	1375 mm
• Dubina	463 mm
• Neto masa	165 kg
• Priključci polaznog/povratnog voda	1 1/4"



## 7.2 Potrošna topla voda

Potrošna topla voda (PTV) koristiti će se na izljevnim mjestima u kući (tuševi, umivaonici, sudoperi...). Za pripremu potrošne tople vode predviđen je akumulacijski sustav sa bivalentnim spremnikom koji se zagrijava solarnim kolektorima, uz podršku dizalice topline. Solarni sustav je dimenzioniran tako da u ljetnim mjesecima u potpunosti pokrije potrebu za PTV-om dok se u ostalim mjesecima predviđa podrška dizalice topline. Također je predviđeno da će se svi viškovi energije u ljetnim mjesecima iskoristiti za dogrijavanje vanjskog bazena.

### 7.2.1 Potrebna količina PTV-a

S obzirom da je zgrada u idejnoj fazi potreba za PTV-om se odabire iz iskustvenih podataka (Slika 20) te ona odgovara srednjoj potrošnji u stambenim zgradama u iznosu od 50 litara/dan/osobi. Predviđa se da borave 4 osobe po stambenoj jedinici što rezultira potrošnjom od 600 litara vode na dan.

Vrsta zgrade	Dnevna potrošnja PTV po osobi $V_p$
Stambena zgrada - niska potrošnja	10-30 l/(osoba dan) 60°C
- srednja potrošnja	30-50 l/(osoba dan)
- visoka potrošnja	50-90 l/(osoba dan)
Bolnica	100-300 l/(ležaj dan) 60°C
Uredska zgrada	10-40 l/(osoba dan) 45°C
Hotel/motel	100-200 l/(osoba dan) 60°C
Škola – s tuševima	30-50 l/(učenik dan) 45°C
– bez tuševa	5-15 l/(učenik dan)
Sportski centar s tuševima	50-70 l/(osoba dan) 45°C
Dom umirovljenika	30-70 l/(osoba dan) 45°C
Vojarna	30-50 l/(osoba dan) 45°C

Slika 18: Preporučena potrošnja tople vode [6]

Dnevna potrebna toplina za zagrijavanje PTV sa 10°C na 60°C računa se prema:

$$Q_w = V_p * \rho_w * c_w * (t_s - t_{HW})$$

$$Q_w = \frac{600}{1000} * 1000 * 4,18 * (60 - 10)$$

$$Q_w = 34,83 \text{ kWh/dan}$$

pri čemu je dizalicom topline potrebno predati 24,33 kWh toplinske energije dnevno za zagrijavanje vode u spremniku sa 10°C na 45°C, a preostalih 10,5 kWh je potrebno predati električnim grijačem za zagrijavanje vode sa 45°C na 60°C.

Minimalni potrebni volumen spremnika:

$$V_{Smin} = \frac{V_p * (t_{TW} - t_{HW})}{t_s - t_{HW}}$$

$$V_{Smin} = \frac{600 * (45 - 10)}{60 - 10}$$

$$V_{Smin} = 420 \text{ l}$$

Zahtjevi na spremnik su da bude bivalentni odnosno da se unutar njega nalaze dva izmjenjivača. Gornji izmjenjivač povezan je s krugom dizalice topline te se preporuča da on bude što veće površine s obzirom da je razlika temperature polaza i povrata 5°C. Donji izmjenjivač povezan je sa solarnim krugom te se tako osigurava zagrijavanje vode prvenstveno solarnim sustavom s obzirom da će na dnu spremnika uvijek biti hladnija voda. U slučaju kada solarni sustav nije u mogućnosti u potpunosti pokriti potrebu za PTV-om, ostatak topline pokriti će se dizalicom topline. Također je bitno navesti da je dizalicom topline predviđeno zagrijavanje vode do temperature 45°C. S obzirom da je iz higijenskih razloga sanitarnu vodu povremeno potrebno zagrijati na 60°C kako bi se sprječio nastanak legionele, ostatak topline predati će se pomoću električnog grijača. Poštivajući prethodno navedene uvjete odabran je spremnik proizviđača Vaillant tip uniSTOR VIH SW-500 (Slika 21), s električnim grijačem snage 3 kW.



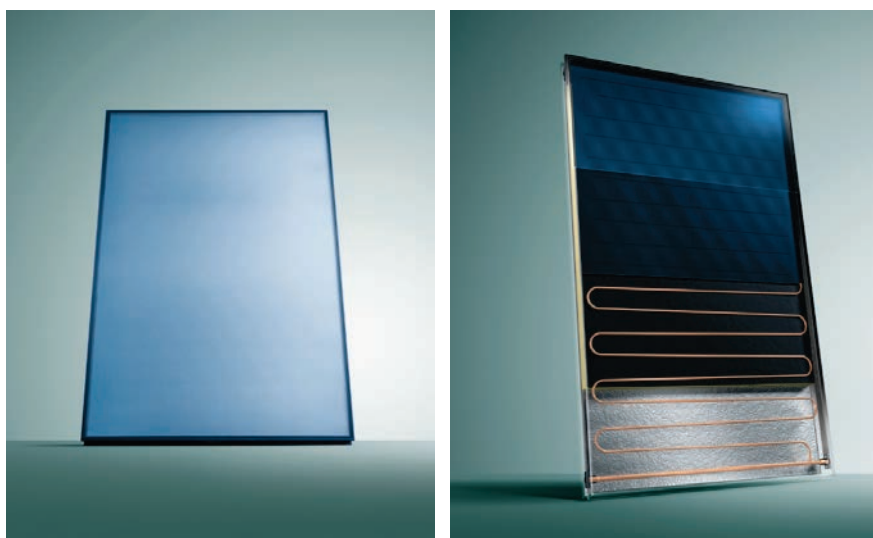
Slika 19: Akumulacijski spremnik proizvođača Vaillant [7]

Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika:

• Zapremnina spremnika	456 l
• Visina	1775 mm
• Promjer	810 mm
• Masa (prazan)	265 kg
• Masa (napunjen)	719 kg
• Maks. temperatura tople vode	85 °C
• Maks. temperatura polaznog voda	110 °C
• Maks. pogonski tlak	10 bar
• Razred energetske učinkovitosti	A -
• Površina izmjenjivača grijanja	4,4 m <sup>2</sup>
• Pad tlaka u izmjenjivaču grijanja	57 mbar
• Zapremnina izmjenjivača grijanja	28,9 l
• Površina solarnog izmjenjivača	2,1 m <sup>2</sup>
• Pad tlaka u solarnom izmjenjivaču	27 mbar
• Zapremnina solarnog izmjenjivača	13,5 l

### 7.3 Solarni kolektori

Određivanje potrebne površine kolektorskog polja izvršeno je računalnim programom KI Expert Plus, a sukladno normi HRN EN 15316-4-3. S obzirom na zahtjev da se u ljetnim mjesecima solarnim sustavom osigura dovoljno topline za pokrivanje ukupne potrebe za zagrijavanje PTV-a, odabrana je površina od  $18,8 \text{ m}^2$ , odnosno 8 solarnih kolektora od  $2,35 \text{ m}^2$ . Sukladno proračunu odabran je solarni sustav proizvođača Vaillant tip auroTHERM VFK 145/2 H (Slika 22).

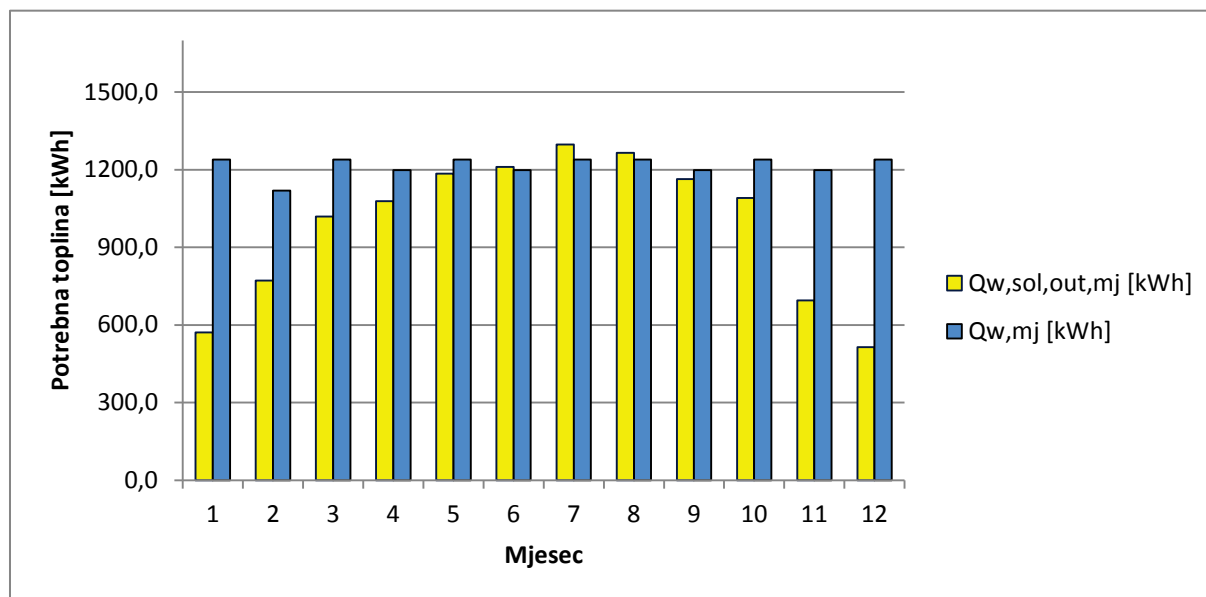


Slika 20: Solarni kolektor proizvođača Vaillant tip auroTHERM VFK 145/2 [7]

Tehničke karakteristike solarnog kolektora prikazane su sljedećim stavkama:

• Tip	horizontalni
• Visina	1233 mm
• Širina	2033 mm
• Dubina	80 mm
• Zapremnina	2,16 l
• Maks. tlak	10 bar
• Temp. u stanju mirovanja	171 °C
• Bruto površina	2,51 $\text{m}^2$
• Površina otvora	2,35 $\text{m}^2$
• Stupanj djelovanja, $\eta_0$	79,1 %
• Masa	38 kg

Ukupno dobivena toplinska energija solarnog sustava i potrebna energija za zagrijavanje PTV-a na mjesečnoj razini prikazana je na Slici 23.



Slika 21: Toplinska energija solarnog sustava [18]

Sa Slike 23. je vidljivo da se solarnim sustavom u potpunosti pokriva potreba za zagrijavanjem PTV u 6., 7., i 8. mjesecu dok je u ostalim mjesecima potrebno koristiti dizalicu topline. Instaliranim sustavom ostvarena je godišnja solarna pokrivenost potrebne toplinske energije za zagrijavanje PTV u iznosu od 81%. Rezultati na godišnjoj razini prikazani su u Tablici 14 [18]:

	$Q_w$ [kWh]	$Q_{w,sol,out}$ [kWh]	$f_{sol}$ [-]	$E_{del}$ [kWh]	$Q_{bu,m}$ [kWh]
<b>Ukupno godišnje</b>	14.586,1	11.860,7	0,81	123,6	3.143,92

Tablica 14: Dobivena i dodatna potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a

Gdje je:

$Q_w$  – godišnja potrebna toplina za pripremu PTV

$Q_{w,sol,out}$  – isporučena sunčeva energija u sustav za pripremu PTV

$f_{sol}$  – udio isporučene sunčeve energije u toplinskom opterećenju

$E_{del}$  – Isporučena energija solarnog sustava

$Q_{bu,m}$  – Toplinska energija koju je potrebno dovesti dodatnim generatorom topline

### 7.3.1 Odabir ekspanzijske posude solarnog kruga

Za odabir ekspanzijske posude solarnog kruga korištene su preporuke proizvođača Vaillant (Slika 24). Serijski spoj od 8 solarnih kolektora povezuje bakreni cjevovod dimenzija Ø22 x 1 duljine 28 metara, te se odabire ekspanzijska posuda zapremnine 80 litara. Odabrana je ekspanzijska posuda proizvođača Elbi tip DSV 80 (Slika 25).

Broj pločastih kolektora VFK 125 VFK 145	Statička visina u m								
	10			20			30		
	Duljina cjevovoda u m								
	30	40	50	40	50	60	60	70	80
2	18	18	18	18	18	25	35	35	35
3	25	25	25	25	25	25	50	50	50
4	25	25	25	35	35	35	50	50	50
5	35	35	35	50	50	50	80	80	80
6	50	50	50	80	80	80	100	100	100
7	80	80	80	80	80	80	118	118	118
8	80	80	80	80	80	80	118	118	118
9	80	80	80	118	118	118	180	180	180
10	100	100	100	118	118	118	180	180	180
11	100	100	100	125	125	125	200	200	200
12	118	118	118	150	150	150	218	218	218
13	118	118	118	180	180	180	235	235	235
14	125	125	125	180	180	180	250	250	250
Osnova za izračun: Do 4 kolektora - Cu 18 x 1; 5 - 8 kolektora - Cu 22 x 1; 9 - 14 kolektora - Cu 28 x 1,5; Tlak punjenja p <sub>a</sub> =h x 0,1 + 0,5 bar									

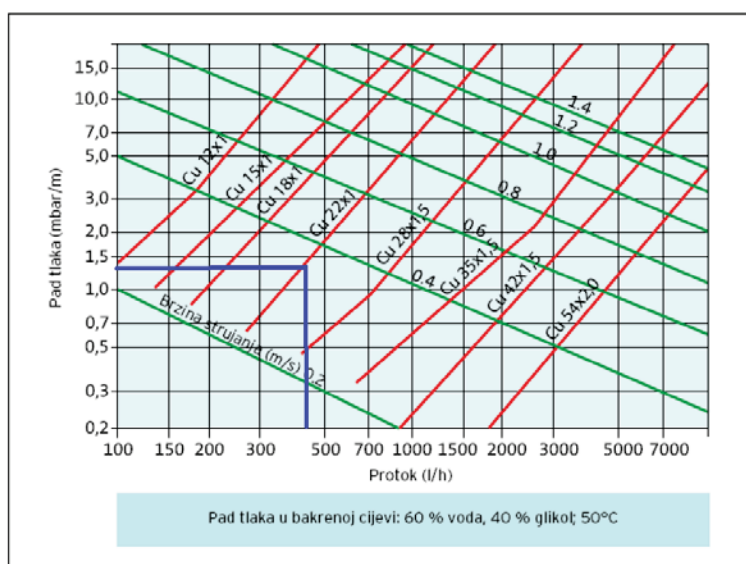
Slika 22: Odabir ekspanzijske posude solarnog kruga [7]



Slika 23: Elbi DSV 80 [19]

Za ostvarivanje optimalne predaje topline solarnih kolektora, kroz njih mora prostrujati minimalni volumenski protok vode po  $\text{m}^2$  kolektorske površine. Ukupni volumenski protok direktno ovisi o kolektorskoj površini i ne bi trebao biti manji od  $15 \text{ l/hm}^2$  što se naziva "low-flow" načinom rada, pri kojem se postiže razlika temperature medija na ulazu i izlazu od  $15\text{--}40^\circ\text{C}$ . Prema preporuci proizvođača Vaillant, za sustav sa 8 solarnih kolektora ukupne površine  $18,8 \text{ m}^2$  ukupni protok bi trebao biti između minimalnih  $280 \text{ l/h}$  ( $15 \text{ l/hm}^2$ ) i preporučenog maksimuma od  $560 \text{ l/h}$  ( $30 \text{ l/hm}^2$ ). Pad tlaka po metru cjevovoda ne bi trebao biti veći od  $1,5 \text{ mbar}$ , a brzina strujanja bi se trebala ograničiti na  $0,5 \text{ m/s}$ .

Za odabrani protok od  $470 \text{ l/h}$  ( $25 \text{ l/hm}^2$ ) u bakrenim cijevima  $\text{Ø}22 \times 1$  ukupne duljine  $28 \text{ m}$ , pad tlaka u cjevovodu iznosi  $39,2 \text{ mbar}$  (Slika 26).



Slika 24: Pad tlaka u cjevovodu solarnog kruga [7]

Za određivanje ukupnog pada tlaka potrebno je na pad tlaka u cjevovodu dodati pad tlaka u izmjenjivaču PTV-a i pad tlaka na solarnom kolektoru.

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{cjev} + \Delta p_{izm} + \Delta p_{kol}$$

$$\Delta p_{uk} = 39,2 + 27 + 90$$

$$\Delta p_{uk} = 156,2 \text{ mbar}$$

gdje su:

- $\Delta p_{cjev}$  - pad tlaka u cjevovodu (mbar)
- $\Delta p_{izmj}$  - pad tlaka u izmjenjivaču PTV-a
- $\Delta p_{kol}$  - pad tlaka u serijskom spoju 8 solarnih kolektora

Visina dizanja cirkulacijske pumpe solarnog kruga određuje se prema:

$$H = \frac{\Delta p_{uk}}{\rho * g} = \frac{156,2 * 100}{1050 * 9,81} = 1,52 \text{ m}$$

gdje su:

- $\rho$  - gustoća smjese 60% voda i 40% glikol,  $\rho=1050 \text{ kg/m}^3$
- $g$  - gravitacijska konstanta,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$

Na osnovu izračunatog odabrana je solarna cijevna grupa proizvođača Vaillant tip auroFLOW VMS 70 (Slika 27).



Naziv	Vrijednost
Dimenzije proizvoda, širina	245 mm
Dimenzije proizvoda, visina	325 mm
Dimenzije proizvoda, dubina	175 mm
Težina	6 kg
Priključci	G 3/4
Maks. temperatura	130 °C
Maks. tlak	0,6 MPa (6,0 bar)
Nazivni napon	220-240 V ~ 50 Hz
Potrošnja struje, maks.	0,52 A
Stupanj zaštite	IP 24
EEL	≤ 0,23

Slika 25: Vaillant auroFLOW VMS 70 [7]



#### 7.4 Odabir ventilokonvektora

Kao ogrjevna/rashladna tijela koriste se ventilokonvektori u dvocijevnoj izvedbi. Takva izvedba sustava omogućuje nam ili grijanje ili hlađenje s jednom cijevi za polaz i jednom za povrat ogrjevnog/rashladnog vode. Ventilokonvektori su predviđeni za rad u zimskog režimu u trenucima kada se toplinski gubici ne mogu pokriti samo podnim grijanjem. Ogrjevni medij (voda) distribuira se cirkulacijskom pumpom prema uređajima u temperaturnom režimu 40/35°C, a regulacija učina pojedinog ventilokonvektora je promjenom protoka preko troputnog ventila na strani vode i promjenom brzine vrtnje ventilatora na strani zraka. U ljetnom režimu ventilokonvektori se koriste kao rashladna tijela do kojih se distribuira hladna voda temperaturnog režima 12/6°C. Regulacija učina ventilokonvektora u režimu hlađenja odgovara onoj u režimu grijanja, promjenom protoka i promjenom brzine vrtnje ventilatora. Za grijanje/hlađenje prostora odabrani su ventilokonvektori proizvođača Vaillant tip aroVAIR prikazani na Slici 28.



Slika 26: Ventilokonvektor proizvođača Vaillant [7]

Zbog realnih radnih uvjeta, koji nisu u skladu sa standardnim kataloškim vrijednostima, za proračun učina ventilokonvektora korišten je računalni program Excel. U Tablici 15. prikazani su parametri pojedinog tipa ventilokonvektora u realnim uvjetima.

		VA 1-017 CN	VA 1-030 CN	VA 1-045 CN
Priključna snaga		14 W	29 W	29 W
Nazivna struja		0,23 A	0,32 A	0,30 A
Strujno napajanje	Napon	230 V	230 V	230 V
	Frekvencija	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Protok zraka	Niski broj okretaja vent.	190 m <sup>3</sup> /h	380 m <sup>3</sup> /h	570 m <sup>3</sup> /h
	Srednji broj okretaja vent.	215 m <sup>3</sup> /h	430 m <sup>3</sup> /h	650 m <sup>3</sup> /h
	Visoki broj okretaja vent.	255 m <sup>3</sup> /h	510 m <sup>3</sup> /h	765 m <sup>3</sup> /h
Učin hlađenja	Niski broj okretaja vent.	632 W	1025 W	1584 W
	Srednji broj okretaja vent.	823 W	1389 W	2018 W
	Visoki broj okretaja vent.	1094 W	1785 W	2785 W
Nazivni protok vode u pogonu hlađenja		299 l/h	488 l/h	762 l/h
Padovi tlaka u pogonu hlađenja		8,5 kPa	16,3 kPa	30,1 kPa
Učin grijanja	Niski broj okretaja vent.	795 W	1266 W	1896 W
	Srednji broj okretaja vent.	904 W	1763 W	2507 W
	Visoki broj okretaja vent.	1275 W	2342 W	3513 W
Padovi tlaka u pogonu grijanja		8,0 kPa	14,5 kPa	25,3 kPa
Zvučni tlak	Niski broj okretaja vent.	20 dB	23 dB	27 dB
	Srednji broj okretaja vent.	26 dB	29 dB	33 dB
	Visoki broj okretaja vent.	30 dB	33 dB	37 dB
Pogonski tlak, maksimalni		16,0 bar	16,0 bar	16,0 bar
Širina		800 mm	1000 mm	1200 mm
Visina		592 mm	592 mm	592 mm
Dubina		220 mm	220 mm	220 mm
Neto masa		24,4 kg	28,2 kg	34,2 kg

Tablica 15: Parametri instaliranih ventilokonvektora

Nakon što su odabrani ventilokonvektori, u Tablici 16. dan je prikaz ventilokonvektora po prostorijama s određenim radnim parametrima.

Br.	Namjena	Qg (W)	m <sub>w,gr</sub> (kg/h)	Qh (W)	m <sub>w,hl</sub> (kg/h)	TIP
	<b>Apartman 1</b>					
1.1	Predsoblje	0	0	0	0	
1.2	Prostorija	0	0	0	0	
1.3	Kupaona + WC	0	0	0	0	
1.4	Kupaona + WC	0	0	0	0	
1.5	Spavaća soba	0	0	400	86	VA-17
1.6	Spavaća soba	0	0	740	159	VA-17
1.7	Spavaća soba	0	0	740	159	VA-17
1.8	Dnevni boravak	0	0	820	177	VA-17
1.9	Kuhinja	0	0	0	0	
1.10	Blagovaona	591	102	2590	558	VA-45
	<b>Ukupno Apartman 1</b>	<b>591</b>	<b>102</b>	<b>5290</b>	<b>1.139</b>	
	<b>Apartman 2</b>					
2.1	Dnevni boravak	499	86	2140	461	VA-30
2.2	Hodnik	0	0	0	0	
2.3	Kupaona	0	0	0	0	
2.4	Spavaća soba	0	0	800	172	VA-17
2.5	Spavaća soba	0	0	790	170	VA-17
	<b>Ukupno Apartman 2</b>	<b>499</b>	<b>86</b>	<b>3730</b>	<b>803</b>	
	<b>Apartman 3</b>					
3.1	Kupaona	0	0	0	0	
3.2	Hodnik	0	0	0	0	
3.3	Dnevni boravak	406	70	970	209	VA-17
3.4	Spavaća soba	0	0	810	174	VA-17
3.5	Spavaća soba	0	0	830	179	VA-17
	<b>Ukupno Apartman 3</b>	<b>406</b>	<b>70</b>	<b>2610</b>	<b>562</b>	
	<b>Ukupno</b>	<b>1.496</b>	<b>258</b>	<b>11630</b>	<b>2.504</b>	

Tablica 16: Parametri ventilokonvektora po prostorijama

gdje su:

- Qg (W) - ogrjevnii učin potreban na ventilokonvektoru
- m<sub>w,gr</sub> (kg/h) - protok vode režimu grijanja pri razlici temperature polaz/povrat dt=5°C
- Qh (W) - rashladni učin potreban na ventilokonvektoru
- m<sub>w,hl</sub> (kg/h) - protok vode u režimu hlađenja pri razlici temperature polaz/povrat dt=4°C

## 7.5 Podno grijanje

Podno grijanje predviđeno je kao temeljni način zagrijavanja prostorija. Ogrjevni medij (voda) priprema se pomoću dizalice topline i cirkulacijskom pumpom distribuira prema razdjelniku podnog grijanja. Razdjelnik i sabirnik ogrjevne vode nalaze se u ormariću podnog grijanja te je predviđena ugradnja zasebnog ormarića za svaki apartman. Prilikom projektiranja korišten je računalni program IntegraCAD.

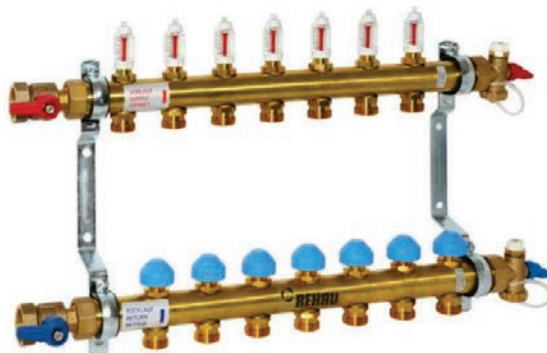
Kao temeljna ploča za pozicioniranje i fiksiranje cijevi korištena je REHAU Vario ploča (Slika 29) sa ispunom od stiroporne pjene. Razvod podnog grijanja predviđen je sa polietilenskim cijevima tipa REHAU RAUTITAN flex (Slika 29) dimenzija  $\varnothing=16 \times 2,2$  mm s razmakom polaganja od 150 mm. U kupaonicama je, zbog većih toplinskih gubitaka i male površine iskoristive podne plohe, razmak polaganja cijevi 100 mm.



Slika 27: Temeljna ploča REHAU Vario i cijev podnog grijanja RAUTITAN flex [15]

Razlog unaprijed određenog razmaka polaganja cijevi je u tome što će u većini sezone grijanja podni razvod sa spomenutim razmakom pokriti ukupne toplinske gubitke, a u trenucima vršnog opterećenja kada će nedostajati topline paralelno će se uključiti ventilokonvektori koji će dogrijavati do željene temperature. S obzirom da dizalica topline priprema ogrjevnu vodu temperature  $40^{\circ}\text{C}$ , troputnim miješajućim ventilom smanjuje se temperaturni režim na  $35/30^{\circ}\text{C}$ . Na svakom razdjelniku u strojarnici nalazi se po jedna cirkulacijska pumpa kruga podnog grijanja koja distribuira ogrjevnu vodu u razdjelnik podnog grijanja koji se nalazi u svakom stanu. Iz razdjelnika podnog grijanja koji je smješten u ormariću podnog grijanja voda se nadalje distribuira prema petljama podnog grijanja u

apartmanu. Razdjelnici podnog grijanja su opremljeni armaturom za ručno zatvaranje, automatsko reguliranje sobne temperature i hidrauličko podešavanje sustava. Odabrani su razdjelnici podnog grijanja proizvođača REHAU tip HKV-D (Slika 30).



Slika 28: Razdjelnik i sabirnik podnog grijanja HKV-D [15]

Razdjelnici se smještaju u ormariće podnog grijanja. Odabran je podžbukni ormarić proizvođača REHAU tip UP (Slika 31). Bočne stranice su po izboru s lijeve ili desne strane opremljene kliznim vratašcima za priključenje polaznog i povratnog voda.

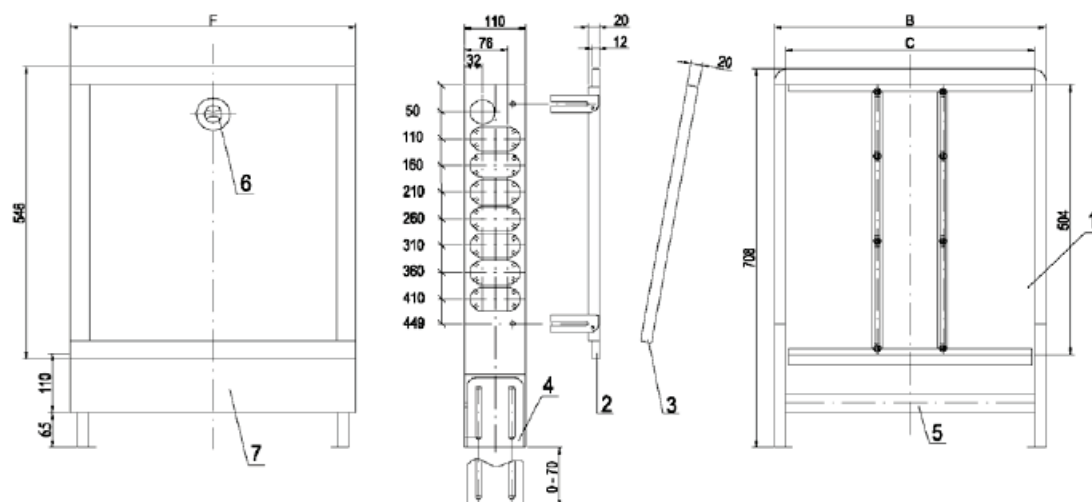


Slika 29: Podžbukni ormarić podnog grijanja [15]

Dimenzije ormarića ovise o broju priključaka na razdjelniku. U Apartmanu 1 u prizemlju zgrade instalirano je 8 krugova podnog grijanja te je odabran ormarić REHAU UP - 3, dok su

na katu Apartmani 2. i 3. sa po 4 kruga grijanja svaki i odabrani su ormarići tipa REHAU UP-2. Dimenzije ormarića prikazane su na Slici 32.

Tip ormara	1	2	3	4
Broj krugova grijanja	do 3 grijača kruga	do 5 grijača krugova	do 10 grijača krugova	do 12 grijača krugova
Visina ugradnje ormara [mm] <sup>1)</sup>	708	708	708	708
Ukupna širina ormara izvana [mm] "B", bez prednje maske	489	574	874	1174
Ukupna širina ormara izvana [mm] "F", s prednjom maskom	513	598	898	1198
Unutarnja mjera ormara [mm] "C"	449	534	834	1134
Ukupna dubina ormara <sup>2)</sup> izvana [mm]	110-160	110-160	110-160	110-160
Težina ormara [kg]	12,54	13,77	19,22	23,88



Slika 30: Dimenzije podžbuknog ormarića [15]

Rezultati proračuna sustava podnog grijanja u Apartmanu 1 prikazani su u Tablici 17:

Tip ormarića podnog grijanja: REHAU- UP 3																	
Tip razdjelnika: REHAU- HKV-D 08																	
Temperatura polazne vode				35,0				(°C)									
Temperatura povratne vode				30,0				(°C)									
Broj priključaka				8													
Uk. površina petlji				73,3				(m²)									
Uk. duljina cijevi				473,3				(m)									
Instalirani učin				3041				(W)									
Uk. volumen medija				50,02				(l)									
Uk. protok				570,50				(kg/h)									
Maks. pad tlaka				21,0				(kPa)									
P	Tip	Obloga	D (mm)	RlaB (m²K/W)	A (m²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m²)	Δt (°C)	l (m)	ld (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
Kat 1 \ P3 Kupaona 1.3																	
34	B	Parket (hrast)	16	0,076	2,8	100	27,3	33,0	5,0	27,5	0,0	91	91	17,7	0,0	0,2	0,25
Kat 1 \ P5 Kupaona 1.4																	
35	B	Parket (hrast)	16	0,076	2,9	100	27,3	33,0	5,0	29,2	0,0	96	96	18,8	0,0	0,3	0,25
Kat 1 \ P6 Spavaća soba 1.5																	
3	B	Parket (hrast)	16	0,076	11,5	250	23,4	34,7	5,0	46,0	0,0	399	399	74,7	0,2	3,4	0,25
Kat 1 \ P7 Spavaća soba 1.6																	
36	B	Parket (hrast)	16	0,076	12,2	150	24,2	43,7	5,0	80,7	0,0	535	535	100,0	0,3	9,8	0,25
Kat 1 \ P8 Spavaća soba 1.7																	
37	B	Parket (hrast)	16	0,076	6,9	150	24,2	43,7	5,0	45,3	0,0	300	300	56,2	0,1	1,2	0,25
Kat 1 \ P9 Dnevni boravak																	
38	B	Parket (hrast)	16	0,076	17,8	150	24,2	43,7	5,0	117,2	0,0	776	776	145,2	0,4	21,0	2,50
Kat 1 \ P10 Kuhinja																	
39	B	Parket (hrast)	16	0,076	11,5	150	24,2	43,7	5,0	75,9	0,0	503	503	94,1	0,2	8,3	0,25
Kat 1 \ P11 Blagovaona																	
12	B	Parket (hrast)	16	0,076	7,8	150	24,2	43,7	5,0	51,5	0,0	341	341	63,8	0,2	2,9	0,25

Tablica 17: Rezultati proračuna za Apartman 1

Rezultati proračuna sustava podnog grijanja u Apartmanu 2 prikazani su u Tablici 18:

Tip ormarića podnog grijanja: REHAU- UP 2																	
Tip razdjelnika: REHAU- HKV-D 04																	
Temperatura polazne vode			35,0			(°C)											
Temperatura povratne vode			30,0			(°C)											
Broj priključaka			4														
Uk. površina petlji			41,5			(m²)											
Uk. duljina cijevi			283,8			(m)											
Instalirani učin			1818			(W)											
Uk. volumen medija			29,99			(l)											
Uk. protok			340,30			(kg/h)											
Maks. pad tlaka			21,0			(kPa)											
P	Tip	Obloga	D (mm)	RlaB (m²K/W)	A (m²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m²)	Δt (°C)	l (m)	ld (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
Kat 2 \ Apartman 2 \ P1 Dnevni boravak																	
13	B	Parket (hrast)	16	0,076	17,7	150	24,2	43,7	5,0	116,8	0,0	774	774	144,8	0,4	21,0	2,50
Kat 2 \ Apartman 2 \ P3 Kupaona																	
26	B	Ker. pločice	13	0,012	3,0	100	28,4	45,6	5,0	30,0	0,0	137	137	25,8	0,1	0,4	0,25

Kat 2 \ Apartman 2 \ P5 Spavaća soba																	
27	B	Parket (hrast)	16	0,076	11,4	150	24,2	43,7	5,0	74,9	0,0	496	496	92,8	0,2	8,0	0,25
Kat 2 \ Apartman 2 \ P6 Spavaća soba																	
28	B	Parket (hrast)	16	0,076	9,4	150	24,2	43,7	5,0	62,0	0,0	411	411	76,9	0,2	4,8	0,25

Tablica 18: Rezultati proračuna za Apartman 2

Rezultati proračuna sustava podnog grijanja u Apartmanu 3 prikazani su u Tablici 19:

Tip ormarića podnog grijanja: REHAU- UP 2																	
Tip razdjelnika: REHAU- HKV-D 04																	
Temperatura polazne vode									35,0	(°C)							
Temperatura povratne vode									30,0	(°C)							
Broj priključaka									4								
Uk. površina petlji									33,6	(m²)							
Uk. duljina cijevi									228,6	(m)							
Instalirani učin									1472	(W)							
Uk. volumen medija									24,15	(l)							
Uk. protok									275,70	(kg/h)							
Maks. pad tlaka									12,7	(kPa)							
P	Tip	Obloga	D (mm)	RiAB (m²K/W)	A (m²)	T (mm)	tp (°C)	q (W/m²)	Δt (°C)	l (m)	ld (m)	Qi(k) (W)	Quk (W)	m (kg/h)	w (m/s)	Δp (kPa)	Poz. vent.
Kat 2 \ Stan \ P7 Kupaona																	
29	B	Ker. pločice	13	0,012	2,0	100	28,4	45,6	5,0	20,0	0,0	91	91	17,2	0,0	0,2	0,25
Kat 2 \ Stan \ P9 Dnevni boravak																	
30	B	Parket (hrast)	16	0,076	13,5	150	24,2	43,7	5,0	89,1	0,0	590	590	110,4	0,3	12,7	2,50
Kat 2 \ Stan \ P10 Spavaća soba																	
31	B	Parket (hrast)	16	0,076	9,3	150	24,2	43,7	5,0	61,4	0,0	406	406	76,1	0,2	4,7	0,25
Kat 2 \ Stan \ P11 Spavaća soba																	
33	B	Parket (hrast)	16	0,076	8,8	150	24,2	43,7	5,0	58,1	0,0	385	385	72,0	0,2	4,0	0,25

Tablica 19: Rezultati proračuna za Apartman 3



## 7.6 Odabir radijatorskog grijanja

Za zagrijavanje kupaonica koristit će se kupaonski cijevni radijatori s temperaturnim režim ogrjevnog vode 40/35°C. Odabrani su radijatori proizvođača Vogel&Noot tip VM (Slika 33). Radijatori imaju središnji priključak te su opremljeni termostatskim ventilom s termomstatskom glavom, zaštitnom kapom za odzračivanje i ventilskim čepom za ispuštanje vode.



Slika 31: Kupaonski cijevni radijator [8]

Tehničke karakteristike ugrađenih tipova radijatora prikazane su u Tablici 19.

Tip	1800/750	1800/900
Nazivna visina (mm)	1800	1800
Ugradbena visina (mm)	1764	1764
Dužina (mm)	750	900
Ogrjevni učin (W)	217	256
Ekspozicija toplinskog učina, n	1,328	1,321
Količina vode (l)	9,9	11,3
Masa (kg)	21,7	25,2

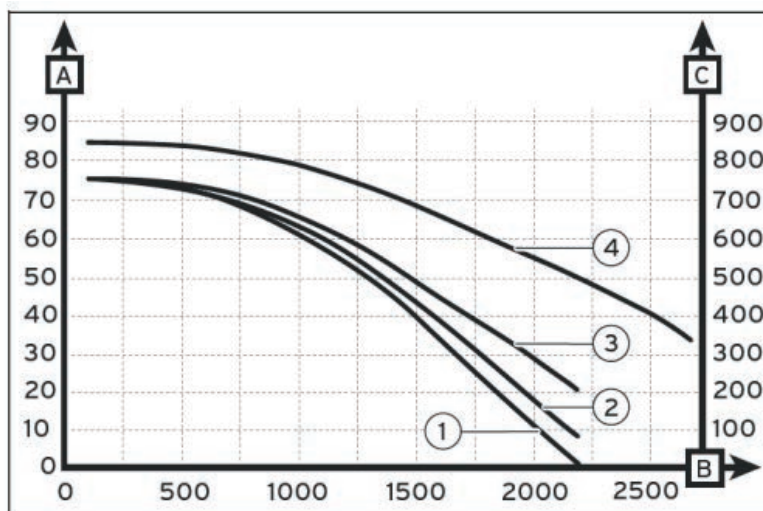
Tablica 20: Tehničke karakteristike kupaonskih radijatora

U apartmanu 1, u prizemlju ugrađena su dva radijatora tipa Dion VM 1800/900 po jedan za svaku kupaonicu. U apartmanu 2 ugrađen je također tip Dion VM 1800/900 dok je u apartmanu 3 predviđen tip Dion VM 1800/750. Ukupni instalirani ogrjevni učin sustavom radijatorskog grijanja iznosi 985 W.

## 7.7 Odabir cirkulacijskih pumpi

### 7.7.1 Proračun cirkulacijske pumpe primarnog kruga

S obzirom da pad tlaka u primarnom krugu svladava cirkulacijska pumpa u sklopu dizalice topline, potrebno je provjeriti može li ona svladati otpore primarnog kruga. Primarni krug se sastoji od cjevovoda koji povezuje dizalicu topline sa spremnikom PTV-a i međuspremnikom, pri čemu je kritična dionica ona koja povezuje dizalicu sa spremnikom PTV-a.



Slika 32: Karakteristika pumpe dizalice topline [7]

Na Slici 34. prikazana je karakteristika pumpe dizalice topline gdje simboli predstavljaju sljedeće:

"4" - Vaillant VWL 155/2 A

A - visina dizanja (kPa)

B - protok (l/h)

C - visina dizanja (mbar)

DIONICA	$\Delta P_{\text{PLOK}}$	$\Delta P_{\text{LIN}}$	$\Delta P_{\text{DION}}$	Q(W)	Qm(l/h)	Qv(m <sup>3</sup> /h)	L(m)	Du(mm)	w(m/s)	$\lambda(-)$	$\Sigma \zeta(-)$
1 - 2	961,58	273,82	1235,40	14600	2510,6	2,568	3	39	0,598	0,0204	5,5
Pad tlaka (Pa) =				1235,40							
Izmjenjivač (Pa) =				5740,00							
$\Sigma \Delta P_{\text{uk}} \text{ (Pa)} =$				6975,40	69,8	mbar					

Tablica 21: Pad tlaka u primarnom krugu

Proračunski je određena potrebna visina dizanja primarnog kruga u iznosu od 0,7 m (69,8 mbar) (Tablica 21). S obzirom da pumpa dizalice topline za protok od 2510,6 l/h ima visinu dizanja približno 4 m (400 mbar), utvrđeno je da može svladati pad tlaka u primarnom krugu.

### 7.7.2 Proračun cirkulacijske pumpe sekundarnog kruga

Za proračun ukupnog pada tlaka sekundarnog kruga potrebno je odrediti kritičnu dionicu. U sekundarnom krugu nalaze se razdjelnici i sabirnici za sva 3 apartmana, te razvod radijatorskog kruga grijanja i ventilokonvektorskog kruga grijanja/hlađenja. Kritična dionica sekundarnog kruga je dionica ventilokonvektora do prostorije 2.01. gdje je instaliran ventilokonvektor tip VA 1-030. Ukupni pad tlaka na kritičnoj dionici iznosi 31138,95 Pa (Tablica 22).

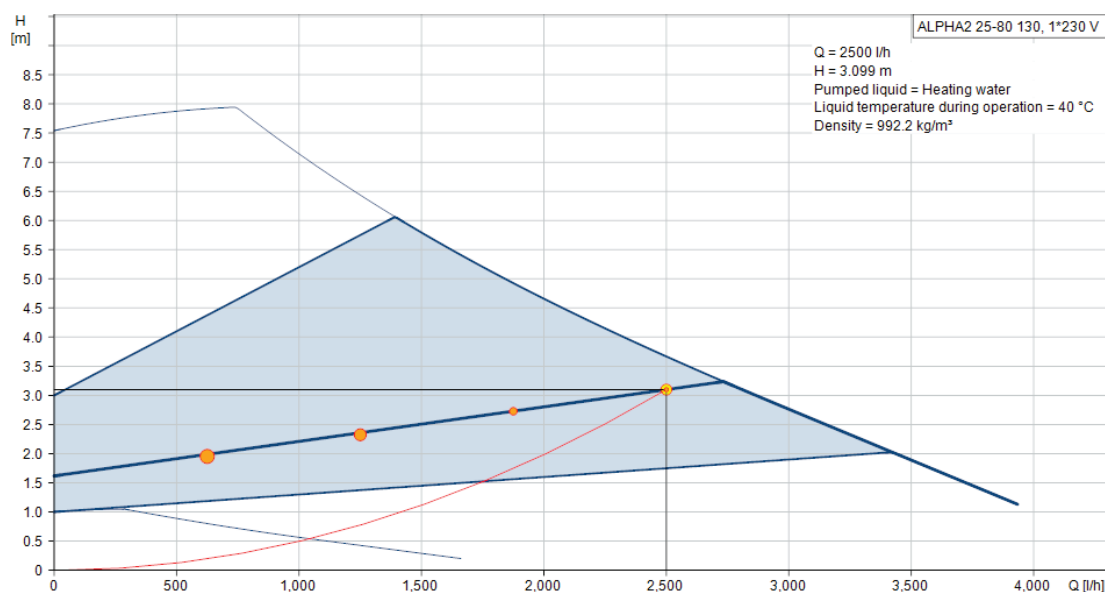
DIONICA	$\Delta P_{LOK}$	$\Delta P_{LIN}$	$\Delta P_{DION}$	Q(W)	Qm(kg/h)	Qv(m <sup>3</sup> /h)	L(m)	Du(mm)	w(m/s)	$\lambda(-)$	$\Sigma\zeta(-)$
1 - 2	311,55	45,23	356,78	11630	2499,89	2,557	0,5	39	0,595	0,0204	1,8
2 - 2	388,10	276,78	664,88	6340	1362,79	1,394	1,2	25,6	0,753	0,0213	1,4
3 - 2	1199,33	4234,68	5434,01	3730	801,77	0,820	47	25,6	0,443	0,0240	12,5
4 - 2	103,51	1264,19	1367,70	2930	629,81	0,644	6	19,6	0,594	0,0239	0,6
5 - 2	267,06	848,52	1115,58	2140	460,00	0,470	7	19,6	0,434	0,0258	2,9
<b>Pad tlaka (Pa) =</b>			<b>8938,95</b>								
Ventilokonvektor(Pa)=			16300,00								
Reg. ventil (Pa) =			5900,00								
<b><math>\Sigma\Delta P_{uk}</math> (Pa) =</b>			<b>31138,95</b>								

Tablica 22: Pad tlaka u sekundarnom krugu

Odabrana je cirkulacijska pumpa proizvođača Grundfos tip ALPHA2 25-80 130 (Slika 35), sa karakteristikom prikazanom na Slici 36.



Slika 33: Cirkulacijska pumpa Grundfos ALPHA2 [20]



Slika 34: Karakteristika pumpe sekundarnog kruga [20]

### 7.7.3 Odabir pumpe kruga podnog grijanja

Zadatak cirkulacijskih pumpi kruga podnog grijanja je da svladaju pad tlaka u podnoj petlji, u razdjelniku/sabirniku podnog grijanja i razvodu podnog grijanja do glavnog razdjelnika/sabirnika u strojarnici. Za svaki apartman proračunata je zasebna pumpa.

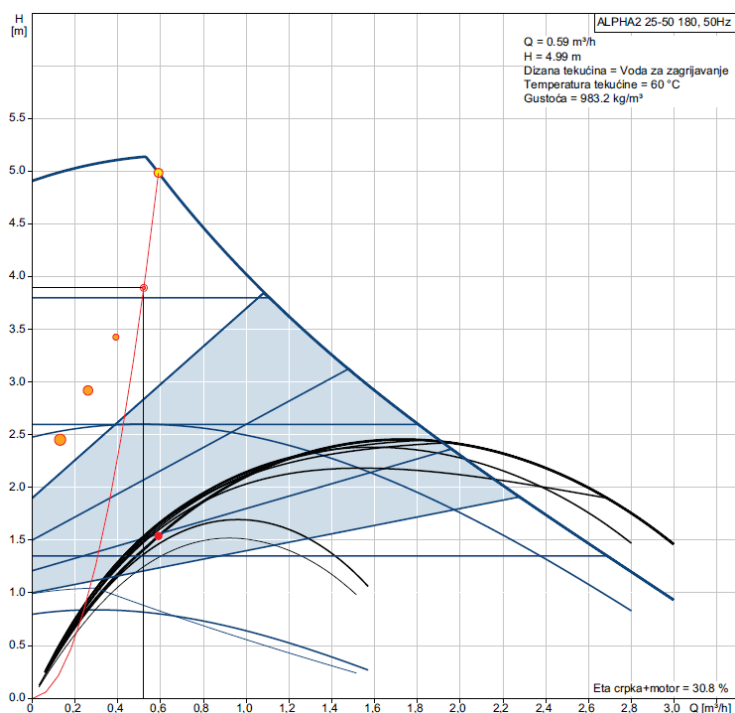
#### Apartman 1

Kritična dionica kruga podnog grijanja u apartmanu 1 je u prostoriji 1.8. (dnevni boravak) te je u Tablici 23. prikazan proračun ukupnog pada tlaka za tu dionicu.

DIONICA	ΔP <sub>LOK</sub>	ΔP <sub>LIN</sub>	ΔP <sub>DION</sub>	Q(W)	Q <sub>m</sub> (kg/h)	Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	L(m)	Du(mm)	w(m/s)	λ( - )	Σζ( - )
1 - 2	134,76	459,44	594,20	3041	522,94	0,53482	10,8	25,6	0,289	0,0267	3,3
Pad tlaka (Pa) =			594,20								
Otpor petlje (Pa) =			21000,00								
Reg. ventil (Pa) =			12000,00								
Ostali otpori (Pa) =			5000,00								
ΣΔP <sub>uk</sub> (Pa) =			38594,20								

Tablica 23: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 1

Odabrana je cirkulacijska pumpa proizvođača Grundfos tip ALPHA2 25-50 180, sa karakteristikom prikazanom na Slici 37.



Slika 35: Karakteristika pumpe - Apartman 1 [20]

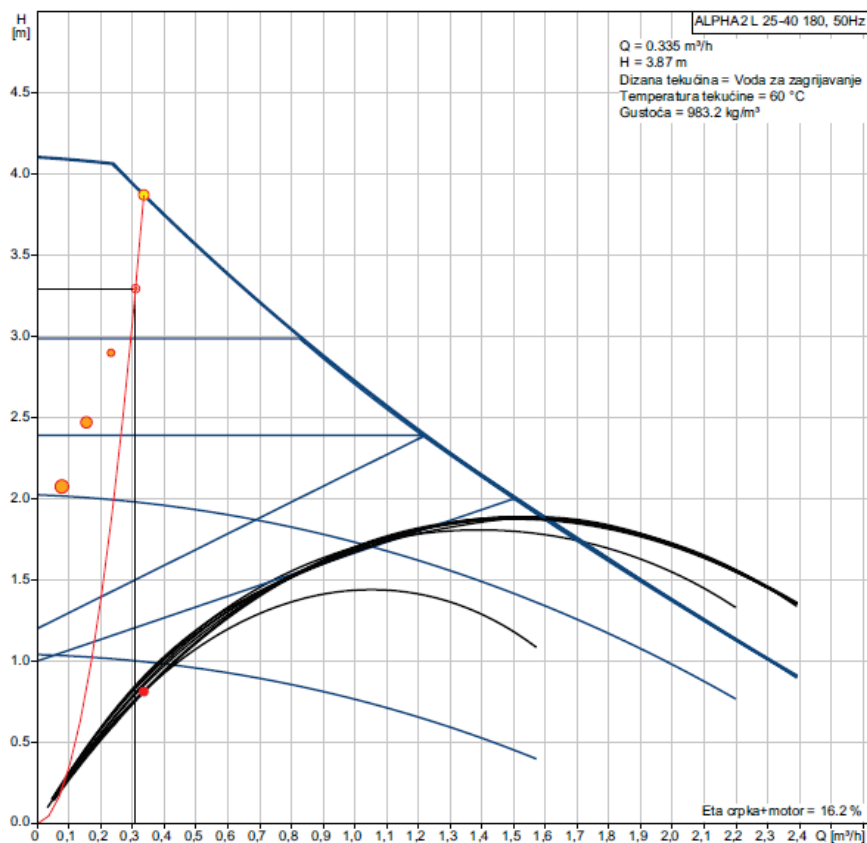
## Apartman 2

Kritična dionica kruga podnog grijanja u apartmanu 2 je u prostoriji 2.1. (dnevni boravak) te je u Tablici 24. prikazan proračun ukupnog pada tlaka za tu dionicu.

DIONICA	ΔP <sub>LOK</sub>	ΔP <sub>LIN</sub>	ΔP <sub>DION</sub>	Q(W)	Q <sub>m</sub> (kg/h)	Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	L(m)	Du(mm)	w(m/s)	λ(-)	Σζ(-)
1 - 2	306,34	3037,41	3343,75	1818	312,63	0,31973	49,2	19,6	0,295	0,0284	7,2
Pad tlaka (Pa) =			3343,75								
Otpor petlje (Pa) =			21000,00								
Reg. ventil (Pa) =			5000,00								
Ostali otpori (Pa)=			3500,00								
ΣΔP <sub>uk</sub> (Pa) =			32843,75								

Tablica 24: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 2

Odabrana je cirkulacijska pumpa proizvođača Grundfos tip ALPHA2 25-40 180, sa karakteristikom prikazanom na Slici 38.



Slika 36: Karakteristika pumpe - Apartman 2 [20]

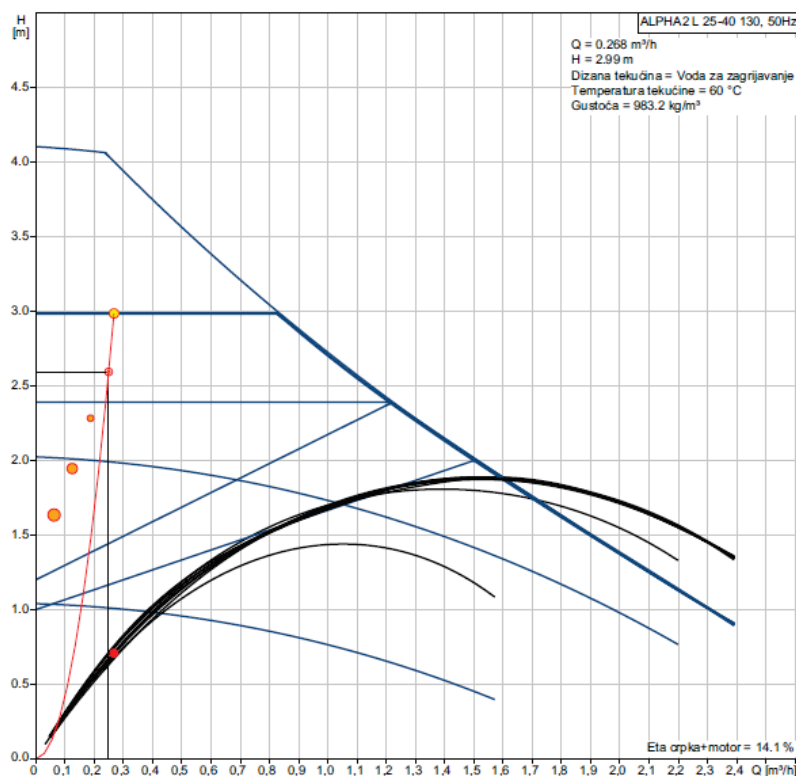
### Apartman 3

Kritična dionica kruga podnog grijanja u apartmanu 3 je u prostoriji 3.1. (dnevni boravak) te je u Tablici 25. prikazan proračun ukupnog pada tlaka za tu dionicu.

DIONICA	$\Delta P_{LOK}$	$\Delta P_{LIN}$	$\Delta P_{DION}$	Q(W)	Qm(kg/h)	Qv(m³/h)	L(m)	Du(mm)	w(m/s)	$\lambda(-)$	$\Sigma \zeta(-)$
1 - 2	451,15	5275,49	5726,64	1472	253,13	0,25888	47,2	16	0,358	0,0285	7,2
Pad tlaka (Pa) =				5726,64							
Otpor petlje (Pa) =				14070,00							
Reg. ventil (Pa) =				3000,00							
Ostali otpori (Pa)=				3000,00							
$\Sigma \Delta P_{uk}$ (Pa) =				25796,64							

Tablica 25: Pad tlaka kruga podnog grijanja - Apartman 3

Odabrana je cirkulacijska pumpa proizvođača Grundfos tip ALPHA2 25-40 130, sa karakteristikom prikazanom na Slici 39.



Slika 37: Karakteristika pumpe - Apartman 3 [20]

## 7.8 Odabir ekspanzijske posude kruga grijanja

Minimalni volumen zatvorene membranske ekspanzijske posude kruga grijanja određuje se prema:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o}$$

gdje je:

$V_e$  - volumen širenja vode uslijed povišenja temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda

$$V_e = \frac{n * V_A}{100}$$

$V_A$  - ukupni volumen vode u sustavu

$V_v$  - dodatni volumen (zaliha) 3 litre

$p_e$  - projektni krajnji tlak – 2,5 bara (0,5 bara ispod tlaka otvaranja sigurnosnog ventila)

$p_o$  - primarni tlak punjenja ekspanzijske posude – za visinu instalacije do 10 m iznosi 1 bar

$n$  - postotak širenja vode u instalaciji ovisan o temperaturi - za zagrijavanje do 40°C,  
 $n=0,72\%$

Za izračun volumena širenja vode potrebno je poznavati ukupni volumen vode u sustavu. U Tablici 26. prikazan je volumen vode u sustavu po komponentama.

Komponente sustava	Volumen vode (l)
Cjevovod	111
Radijatori	43,8
Podno grijanje	107,7
Ventilokonvektori	22
Razdjelnik/sabirnik	6
Međuspremnik	35
Izmjenjivač PTV	28,9
Dizalica topline	2,7
Ukupno vode u sustavu	357

Tablica 26: Volumen vode u sustavu grijanja

Volumen širenja vode uslijed povišenja temperature:

$$V_e = \frac{n * V_A}{100} = \frac{0,72 * 357}{100} = 2,57 \text{ l}$$

i naposljetku minimalni volumen zatvorene membranske ekspanzijske posude kurga grijanja:

$$V_{n,min} = (V_e + V_v) * \frac{p_e + 1}{p_e - p_o} = (2,57 + 3) * \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1} = 13,0 \text{ l}$$



Na temelju proračunatog odabire se ekspanzijska posuda volumena 18 litara proizvođača Pneumatex tip Statico SD - 18 (Slika 40).



Slika 38: Ekspanzijska posuda kruga grijanja [19]

## 7.9 Izmjenjivač topline vanjskog bazena

Za izmjenjivač topline vanjskog bazena odabran je cijevni izmjenjivač proizvođača Vagner tip 13 (Slika 41), nazivnog toplinskog učina 13,0 kW. Izmjenjivač se naručuje sa standardnom bazenskom tehnikom koja nije dio ovog projekta.



Slika 39: Izmjenjivač topline vanjskog bazena [21]

## 8. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

### 8.1 Grijanje i hlađenje

Projekt grijanja i hlađenja izrađen je za stambenu zgradu na području grada Korčule prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Stambena zgrada sastoji se od tri etaže, Podrum + Prizemlje + Kat s površinom grijanog prostora od 212 m<sup>2</sup>. U zgradi se nalaze tri apartmana, jedan u prizemlju i dva na katu. Negrijani podrum predviđen je kao strojarnica, odnosno kao prostor za smještaj strojarne opreme. U sklopu zgrade nalazi se vanjski bazen dimenzija (š x d x v) 11,0 x 4,0 x 2,0 m. Sustav grijanja izveden je kao centralni toplovodni s prisilnom cirkulacijom u kombinaciji sa površinskim grijanjem i grijanjem pomoću ventilokonvektora. Kao izvor topline u sustavu grijanja koristi se dizalica topline zrak-voda aroTHERM VWL 155/2 proizvođača Vaillant koja pri vanjskoj temperaturi od -2°C i polaznoj temperaturi ogrjevnog vode 40°C i temperaturnoj razlici od 5°C ima ogrjevni učin 13,0 kW uz faktor grijanja od 3,0. Dizalica topline također se koristi i za pripremu rashladne vode. Pri vanjskoj temperaturi 35°C dizalica topline priprema rashladnu vodu temperaturnog režima 12/16°C te isporučuje 12,0 kW rashladnog učina uz faktor hlađenja 2,8. Dizalica topline je opremljena cirkulacijskom pumpom koja distribuira vodu kroz primarni krug grijanja i do spremnika PTV-a. Uz dizalicu topline ugrađen je međuspremnik topline "VWZ MPS 40" zapremnine 35 litara proizvođača Vaillant. Zadatak međuspremnika je da osigura minimalni protok u krugu dizalice topline, neovisno o potrošačima u sekundarnom krugu. Od međuspremnika do ogrjevnih tijela proteže se sekundarni krug, koji se sastoji od zajedničke cirkulacijske pumpe, razdjelnika/sabirnika sa pripadajućom armaturom za svaki stan zasebno, cjevovoda te ogrjevnih/rashladnih tijela. Voda se u sekundarnom krugu distribuira cirkulacijskom pumpom proizvođača Grundfos tip ALPHA2 25-80 130 sa ugrađenom frekvencijskom regulacijom. Pumpa je dimenzionirana na temelju proračunatog pada tlaka kritične dionice sekundarnog kruga te prema potrebnom volumenskom protoku ogrjevnog/rashladnog medija.

Za temeljno zagrijavanje boravišnih prostorija predviđen je sustav podnog grijanja. Razvod podnog grijanja predviđen je sa polietilenskim cijevima dimenzija  $\varnothing=16 \times 2,2$  mm sa razmakom polaganja od 150 mm dok je u kupaćicama zbog većih toplinskih gubitaka i male površine iskoristive podne plohe razmak polaganja cijevi 100 mm. U trenucima vršnog opterećenja kada će nedostajati topline, uz podno grijanje, paralelno će se uključiti ventilokonvektori koji će dogrijavati do željene temperature. Ukupni instalirani ogrjevni učin

sustavom podnog grijanja iznosi 6331 W koji se raspoređuje za sva 3 apartmana u zgradi. Apartman u prizemlju sastoji se od 8 krugova podnog grijanja koji su spojeni na razdjelnik proizvođača REHAU tip HKD-08 i smješteni u ormariću podnog grijanja tipa REHAU UP 3. Apartmani 2 i 3, na katu, sastoje se svaki od 4 kruga podnog grijanja povezana razdjelnikom tipa HKD 04 smještenom u ormariću podnog grijanja tipa REHAU UP 2. Za cirkulaciju ogrjevnice vode u sustavima podnog grijanja predviđene su cirkulacijske pumpe proizvođača Grundfos tip ALPHA2, za svaki apartman zasebno. Za dogrijavanje prostorija u trenucima kada podno grijanje nije u mogućnosti pokriti toplinske gubitke, paralelno se uključuju ventilokonvektori. Ugrađeni su ventilokonvektori parapetne izvedbe za rad u dvocijevnom sustavu, s trobrzinskim motorom ventilatora proizvođača Vaillant tip aroVAIR. Ventilokonvektori su projektirani za rad u sezoni grijanja s temperaturnim režimom 40/35°C. Regulacija učina pojedinog ventilokonvektora je promjenom brzine vrtnje ventilatora na strani zraka i promjenom protoka preko troputnog ventila na strani vode. Ukupno instalirani ogrjevni učin podsustavom ventilokonvektora iznosi 1496 W. U ljetnom režimu ventilokonvektori se koriste kao rashladna tijela do kojih se distribuira hladna voda temperaturnog režima 12/16°C. Ukupno instalirani rashladni učin iznosi 11630 W. Za zagrijavanje kupaoonica ugrađeni su kupaoonski cijevni radijatori proizvođača Vogel&Noot tip Dion. Radijatori su opremljeni s termostatskim ventilom s termomstatskom glavom, zaštitnom kapom za odzračivanje i ventilskim čepom za ispuštanje vode. Ukupno instalirani učin podsustavom radijatorskog grijanja iznosi 985 W. Za pravilnu raspodjelu troškova sustava grijanja i hlađenja, prije glavnog razdjelnika za svaki apartman ugrađen je kalorimetar proizvođača Danfoss tip Sonometer 1100 s mogućnošću rada i u sezoni grijanja i u sezoni hlađenja. Ultrazvučni kalorimetri mjere potrošnju toplinske energije mjereći protok vode te razliku temperature polaznog i povratnog voda.

## **8.2 Potrošna topla voda (PTV)**

Za pripremu potrošne tople vode koristi se akumulacijski sustav sa bivalentnim spremnikom koji se zagrijava solarnim kolektorima, uz podršku dizalice topline i električnog grijača. Odabran je bivalentni spremnik proizvođača Vaillant tip uniSTOR VIH SW 500 zapremnine 456 litara. U spremniku se nalaze dva izmjenjivača. Donji za zagrijavanje vode solarnim sustavom i gornji za zagrijavanje vode dizalicom topline. U spremnik je također ugrađen i električni grijač "VWZ EA 3" proizvođača Vaillant snage 3 kW. Predviđeno je da se u

slučaju nedovoljno dozračene energija sunca, voda grije pomoću dizalice topline do temperature 45°C, dok na konačnih 60°C vodu zagrijava električni grijač. Kada se iz spremnika uzima topla voda, u donji dio automatski dotječe hladna pitka voda tako da dolazi do temperaturnog raslojavanja. Kolektorsko polje se sastoji od 8 serijski povezanih pločastih kolektora orijentiranih prema jugu, proizvođača Vaillant tip auroTHERM VFK 145 H. Kolektori su dimenzionirani tako da pokriju cjelokupnu potrebu za PTV-om tijekom ljetnih mjeseci. Ukupna godišnja solarna pokrivenost iznosi 81%, što znači da se solarnim sustavom pokriva 81% godišnje potrebne toplinske energije za zagrijavanje PTV-a. U trenucima kada će se sa solarnog sustava dobivati više toplinske energije nego što je potrebno za pripremu PTV-a, troputnim ventilom će se preusmjeriti zagrijana glikolna smjesa i koristit će se za dogrijavanje vanjskog bazena. Brzina strujanja smjese u solarnom krugu je 0,5 m/s kroz cjevovod ØCu 22x1. Smjesa se sastoji od vode i ekološki prihvatljivog glikola. Cirkulacija u sustavu je prisilna, uslijed rada cirkulacijske pumpe koja je u sastavu solarne cijevne grupe proizvođača Vaillant tip auroFLOW VMS 70. Ekspanzijska posuda solarnog kruga je volumena 80 litara odabrana prema dijagramu proizvođača. Razvodni cjevovod tople vode od akumulacijskog spremnika do trošila PTV-a stalno je ispunjen toplom vodom. Ukoliko neko vrijeme nema potrošnje vode, temperatura joj pada te je zbog toga ugrađen recirkulacijski vod. U njemu se miješa ohlađena voda u cijevima sa toplom vodom u spremniku i tako omogućuje održavanje stalne temperature vode na izljevnom mjestu.

### 8.3 Regulacija

Za primarni krug grijanja i hlađenja koristi se regulacija u ovisnosti o vanjskoj temperaturi, regulator tipa multiMATIC VRC 700 s modulom za hidrauličko proširenje na 3 kruga grijanja tip VR 70. Regulator VRC 700 je povezan sa upravljačkim modulom za programiranje dizalice topline VWZ AL, sve proizvođača Vaillant. Regulator upravlja svim regulacijskim komponentama primarnog kruga i glavna mu je zadaća uključivanje i isključivanje komponenata sustava s ciljem regulacije polaznog voda te održavanje potrebne temperature spremnika PTV-a. Regulacija temperature polaznog voda vrši se u ovisnosti o vanjskoj temperaturi koja se prati preko osjetnika vanjske temperature smještenog na sjevernom pročelju zgrade. Regulator u slučaju snižavanja vanjske temperature, podiže temperaturu polaznog voda prema međuspremniku do 40°C, te isto tako u slučaju porasta vanjske temperature, regulator snižava temperaturu polaza. Regulator preko troputnog razdjelnog ventila usmjerava vodu ili prema međuspremniku ili prema spremniku PTV-a, pri čemu prednost ima spremnik PTV-a. U slučaju kada temperaturni osjetnik "T" u spremniku PTV-a osjeti temperaturu nižu od zadane, troputnim ventilom se preusmjerava proces na zagrijavanje PTV-a. Regulator također upravlja i pumpom sekundarnog kruga. Pumpa je frekventno upravljanja što znači da se protok regulira u ovisnosti o potrebi na potrošačima. U sekundarni krug ugrađen je prestrujni ventil "PV" kako bi se osigurao minimalni protok vode koji pumpa mora distribuirati. Na pumpu sekundarnog kruga spojeni su razdjelnici za svaki apartman te se iz njih voda dalje distribuira prema ventilokonvektorima, radijatorima i podnom grijanju. S obzirom da na razdjelnik dolazi voda temperature 40°C, preko troputnog miješajućeg ventila "TMV-P", smještenog prije cirkulacijske pumpe kruga podnog grijanja, regulira se temperatura polaznog voda prema ormariću podnog grijanja. Temperatura polaza prati se preko osjetnika temperature polaza "TP" smještenog u polaznom vodu, u kojem je također smješten i graničnik maksimalne temperature polaza "TPG" koji ima zadatak spriječiti prekoračenje maksimalne temperature polaza prema razdjelnicima od 35°C. U svaku grijanu prostoriju ugrađen je sobni regulator temperature proizvođača Siemens tip RDG100. Regulator u sebi ima osjetnik temperature te upravlja zonskim ventilima sa elektrotermičkim pogonom koji se nalaze na sabirniku podnog grijanja. Regulator RDG100 također ima mogućnost vođenja dva kruga grijanja, podno grijanje i ventilokonvektorsko grijanje. Logika vođenja paralelnog načina rada dva kruga grijanja temelji se na postavljanju temperature na ventilokonvektorima 2-3°C ispod željene temperature u prostoru. Na taj način, kada se temperatura u prostoru počne snižavati, odnosno podno grijanje nije u mogućnosti pokriti

toplinske gubitke, regulator će poslati signal na aktuator ventilokonvektora i dogrijati prostor na traženu temperaturu.

Regulacija solarnog kruga vrši se solarnim regulatorom tipa auroMATIC 570 proizvođača Vaillant. Regulator upravlja pumpom solarnog kruga, te ima osjetnike temperature kolektora, temperature spremnika PTV-a i osjetnik temperature polaza prema kolektoru. Regulator prati temperaturu na izlazu iz solarnih kolektora i kada ta temperatura postane veća od temperature u spremniku za postavljenu vrijednost 7°C, regulator uključuje cirkulacijsku pumpu solarnog kruga. Također kada temperatura na izlazu iz kolektora padne na vrijednost 3°C iznad temperature u spremniku, regulator isključuje pumpu. U trenucima kada postoji dovoljno velika razlika temperatura na izlazu iz kolektora i u spremniku, a nema potrebe za zagrijavanjem PTV-a, troputnim razdjelnim ventilom se preusmjerava proces na dogrijavanje bazenske vode.

## 9. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu napravljen je projekt grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode za stambenu zgrada s 3 apartmana, ukupne korisne površine  $212 \text{ m}^2$  na području grada Korčule. U sklopu projekta uspoređena su tri izvora topline, kotao na biomasu u kombinaciji sa rashladnikom vode, dizalica topline tlo-voda i dizalica topline zrak-voda. Usporedbom investicijskih i pogonskih troškova kroz period od 10 godina, odabran je sustav sa dizalicom topline zrak-voda kao optimalno rješenje te je razrađen na razini Glavnog projekta.

Određeni su projektni toplinski gubici grijanog prostora prema normi HRN EN 12831. Proračun je izvršen za najbližu dostupnu lokaciju odnosno grad Hvar s vanjskom projektnom temperaturom  $-2^\circ\text{C}$ . Ukupni projektni toplinski gubici iznose  $8,47 \text{ kW}$  te je prema njima dimenzionirana oprema za grijanje. Proračun projektnog toplinskog za opterećenja proveden je prema smjernici VDI 2078 te je određen potrebni rashladni učin u iznosu od  $10,49 \text{ kW}$ . Proračun toplinskih gubitaka i toplinskog opterećenja za predmetnu zgradu proveden je pomoću računalnog programa IntegraCAD.

Proračun ukupne godišnje toplinske energije potrebne za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode, te usporedba 3 sustava grijanja provedena je putem računalnog programa KI Expert Plus. Izračunata vrijednost godišnje potrebne energije za grijanje iznosi  $1666,1 \text{ kWh}$ , odnosno  $7,86 \text{ kWh/m}^2$  korisne površine zgrade, dok za hlađenje ona iznosi  $13592,5 \text{ kWh}$ , odnosno  $64,12 \text{ kWh/m}^2$ . Proračunom je određena i ukupna godišnja toplinska energija potrebna za zagrijavanje PTV-a, na osnovi potrošnje od 600 litara/dnevno i ona iznosi  $14.586,6 \text{ kWh}$ .

Sustav grijanja izveden je kao centralni toplovodni sustav sa prisilnom cirkulacijom gdje se za temeljno zagrijavanje prostorija koristi podno grijanje temperaturnog režima  $35/30^\circ\text{C}$ . Za zagrijavanje kuponica ugrađeni su kupaonski radijatori iz cijevnog registra s temperaturama polaza i povrata  $40/35^\circ\text{C}$ . Za pokrivanje vršnih opterećenja zimi i hlađenje prostorija ljeti instaliran je dvocijevni sustav ventilokonvektorskog grijanja/hlađenja. Za pripremu potrošne tople vode koristi se akumulacijski sustav sa bivalentnim spremnikom koji se zagrijava solarnim kolektorima, uz podršku dizalice topline i električnog grijača. Također je predviđeno dogrijavanje vanjskog bazena solarnim sustavom kada neće biti potrebe za zagrijavanjem PTV-a.

Analizom rezultata može se zaključiti da će korištenje obnovljivih izvora energije u kombinaciji sa niskotemperaturnim grijanjem sa dizalicama topline i solarnim kolektorima u bližoj budućnosti postati standard. Uz relativno velike uštede energije, prednost obnovljivih izvora je i smanjena emisija CO<sub>2</sub> čime se direktno utječe na zaštitu okoliša.

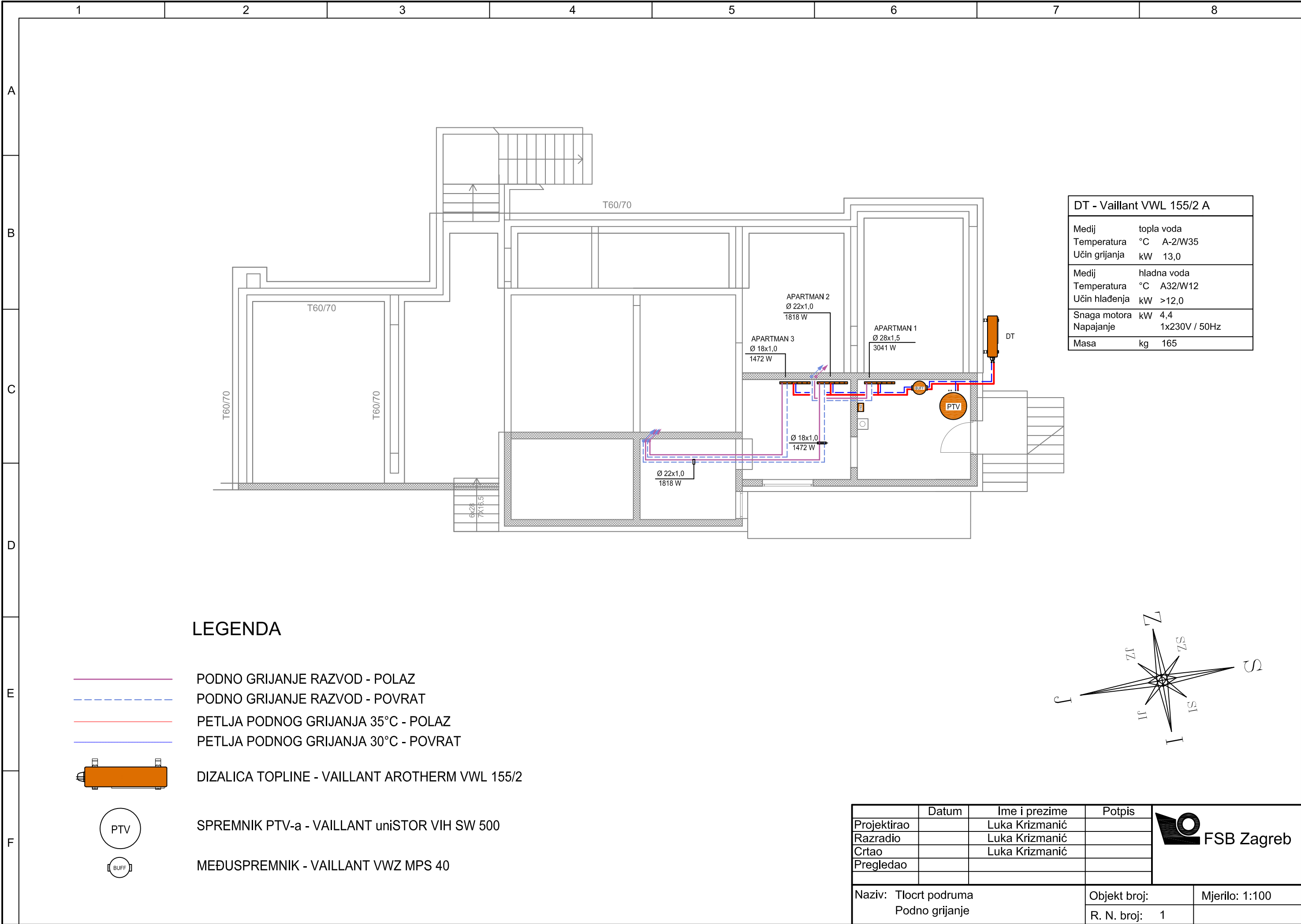
Prilikom izrade projektnog rješenja sustava grijanja, hlađenja i pripreme pripreme potrošne tople vode, vođeno je računa da se poštivaju svi važeći pravilnici i norme te da odgovarajuća rješenja budu u skladu sa svim pravilima struke. Također kod dimenzioniranja i odabira komponenata sustava, pozornost je skrenuta na kvalitetu i suvremena tehnička rješenja.



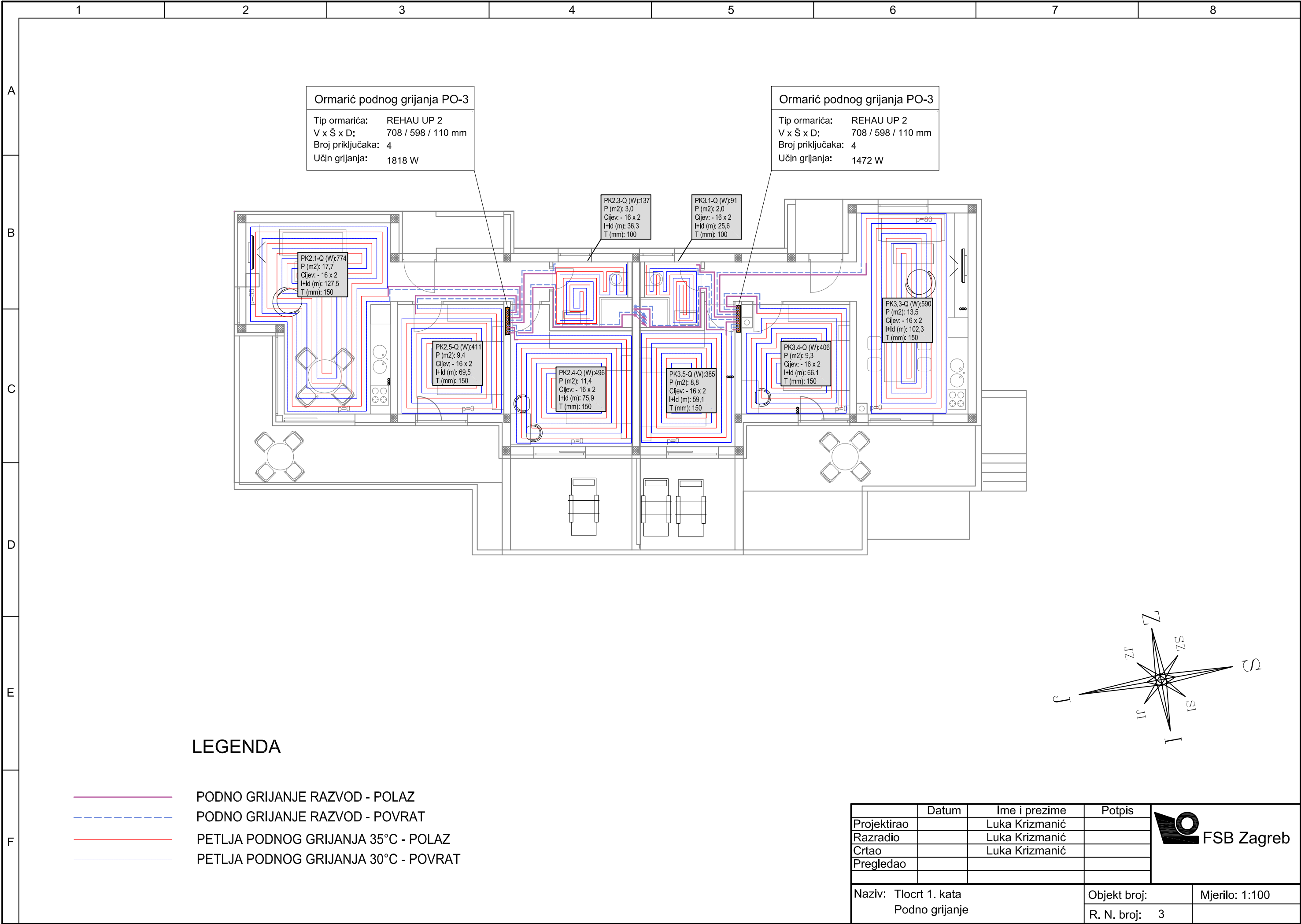
## LITERATURA

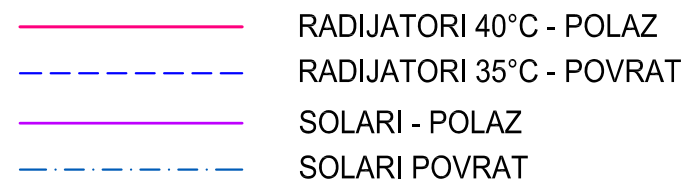
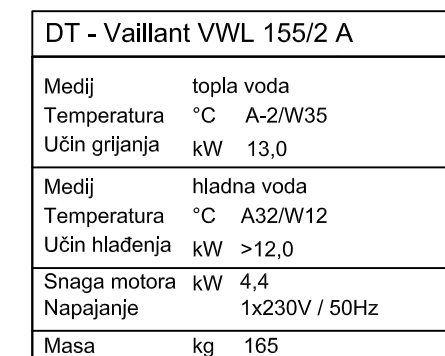
- [1] Sustavi grijanja u zgradarstvu: *Metoda proračuna toplinskog opterećenja prema EN 12831*
- [2] Soldo V., Novak S., Horvat I.: *Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790*, Zagreb, 2014.
- [3] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*
- [4] Dović D., Horvat I., Rodić A., Soldo V., Švaić S.: Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama: *Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode*, Zagreb, 2015.
- [5] Dović D., Ferdelji N., Horvat I., Rodić A.: *Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade*
- [6] Balen I., FSB: *Podloge za predavanja iz kolegija "Grijanje" i "Klimatizacija"*
- [7] [www.vaillant.hr](http://www.vaillant.hr)
- [8] [www.vogelundnoot.hr](http://www.vogelundnoot.hr)
- [9] [www.pipelife.hr](http://www.pipelife.hr)
- [10] [www.solar.hr](http://www.solar.hr)
- [11] [www.enu.fzoeu.hr](http://www.enu.fzoeu.hr)
- [12] [www.mariterm.hr](http://www.mariterm.hr)
- [13] [www.flowcon.com](http://www.flowcon.com)
- [14] [www.kht-dresden.de](http://www.kht-dresden.de)
- [15] [www.rehau.hr](http://www.rehau.hr)
- [16] [www.daikin.hr](http://www.daikin.hr)
- [17] [www.weishaupt.hr](http://www.weishaupt.hr)
- [18] Krizmanić L.: *Usporedba tri sustava grijanja obiteljske kuće*
- [19] [www.imi-hydronic.com](http://www.imi-hydronic.com)
- [20] [www.grundfos.hr](http://www.grundfos.hr)
- [21] [www.vagnerpool.com](http://www.vagnerpool.com)

## **Grafički prilozi**

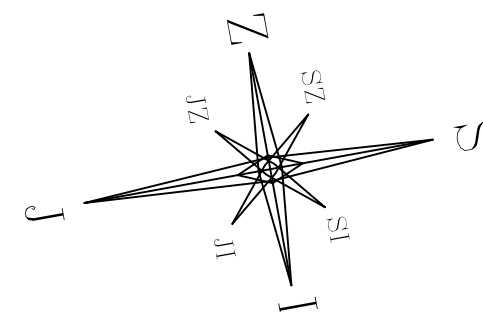





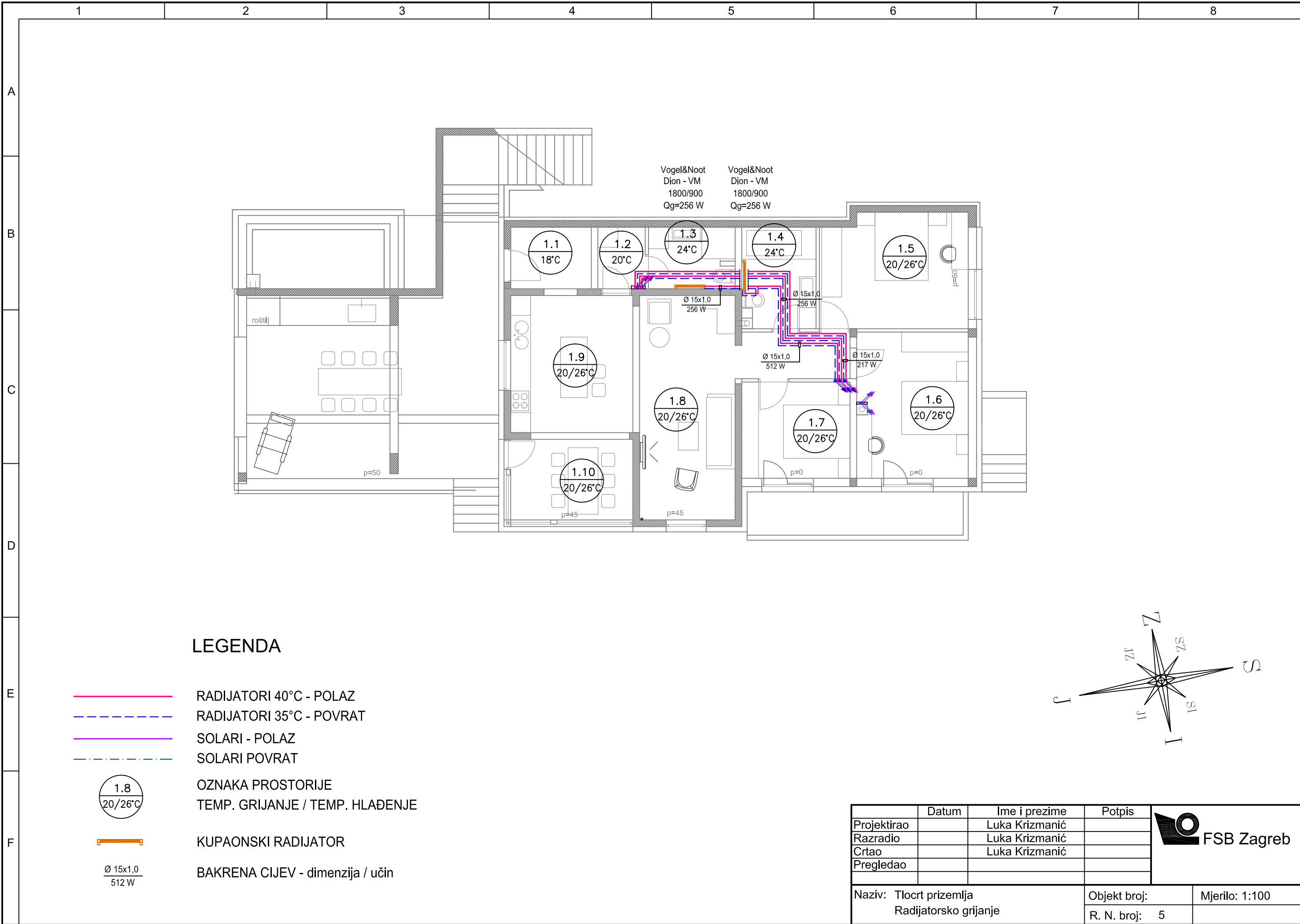


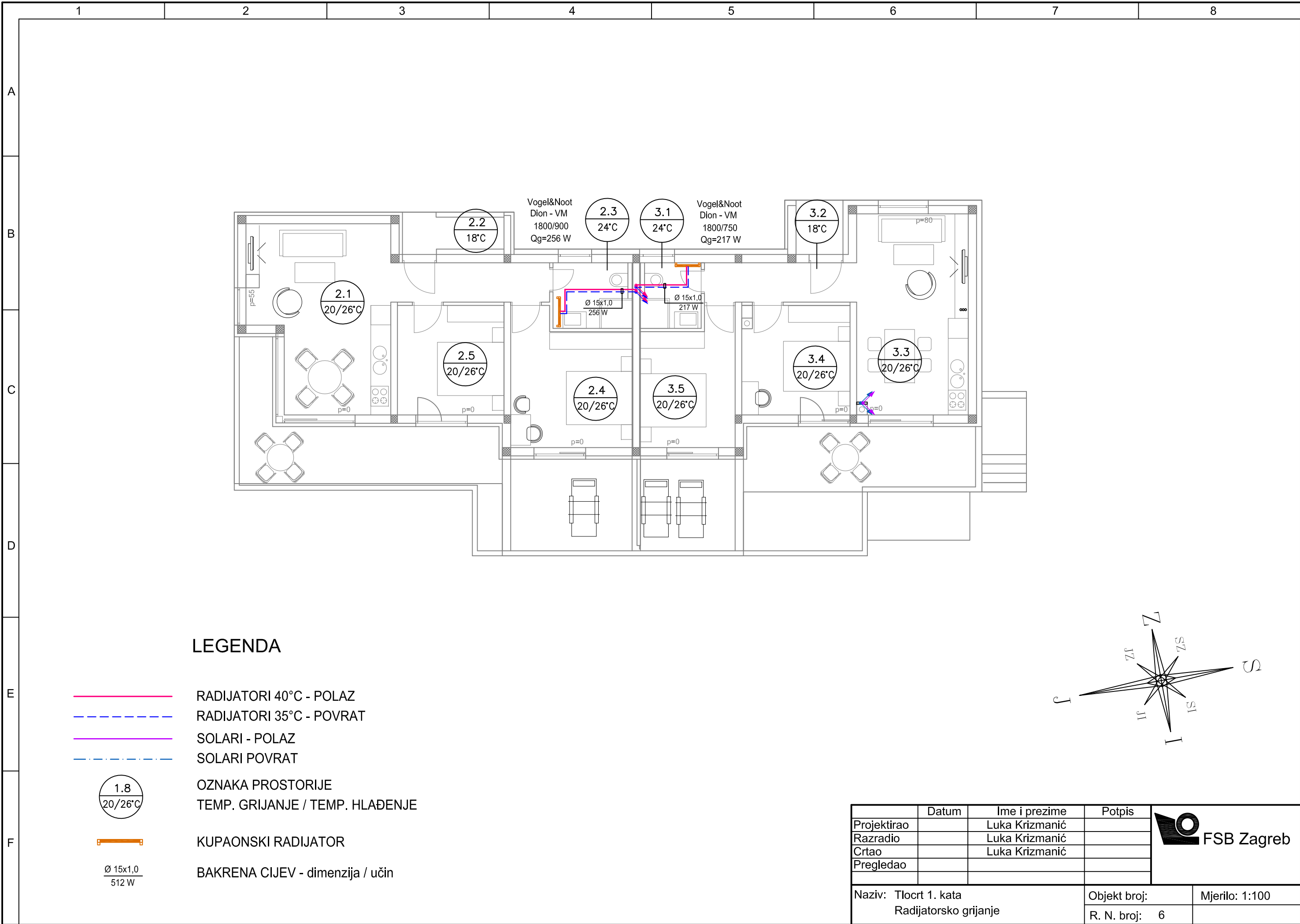


<b>PTV - Vaillant uniSTOR VIH SW 500</b>	
Volumen	lit 456
<b>Izmjenjivač grijanja</b>	
Površina	4,4 m2
<b>Izmjenjivač solara</b>	
Površina	2,1 m2
<b>Elektro grijač</b>	
Napajanje	kW 3,0 1x230V / 50Hz
<b>Dimenzija V/D</b>	
	1775/810 mm

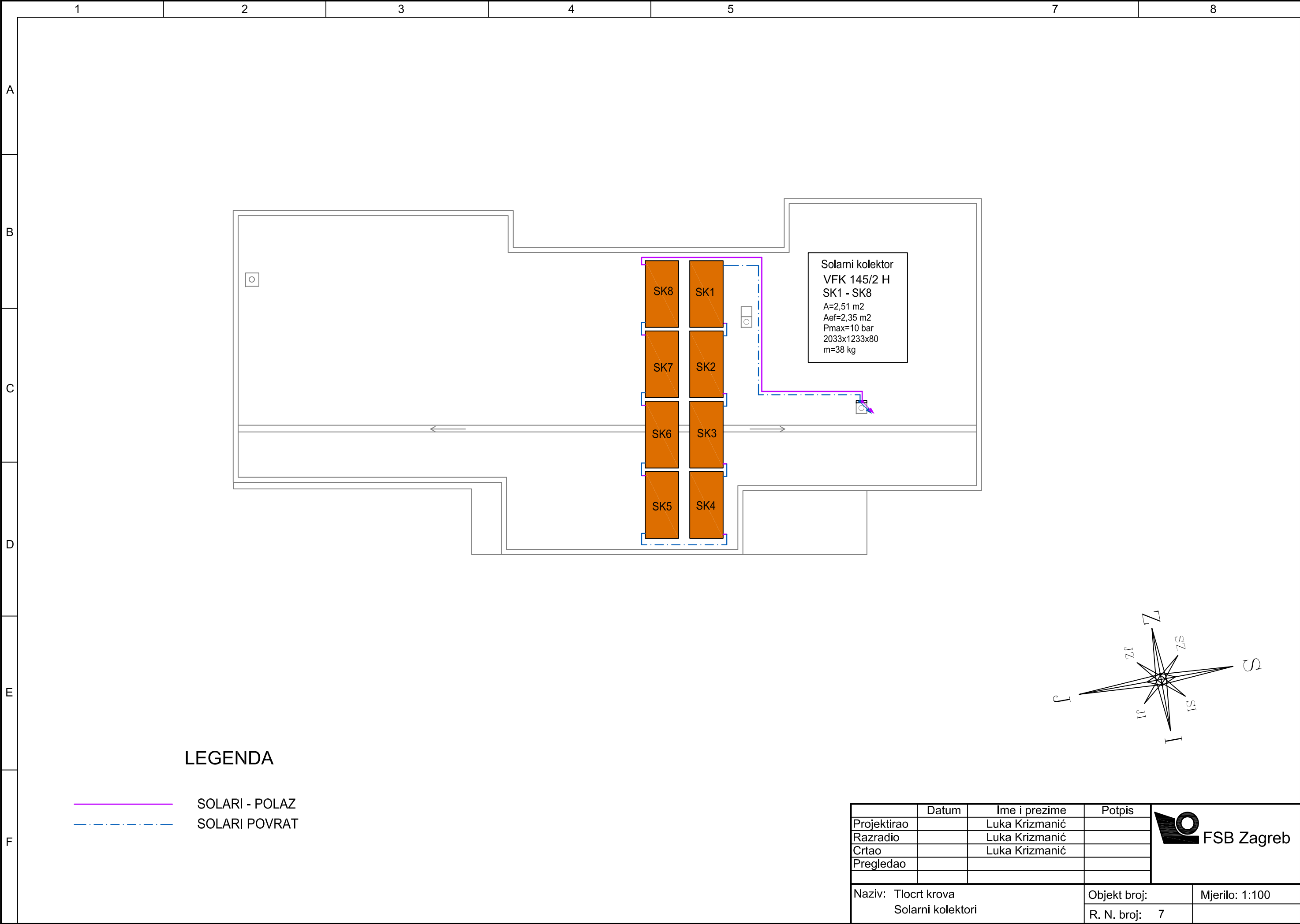


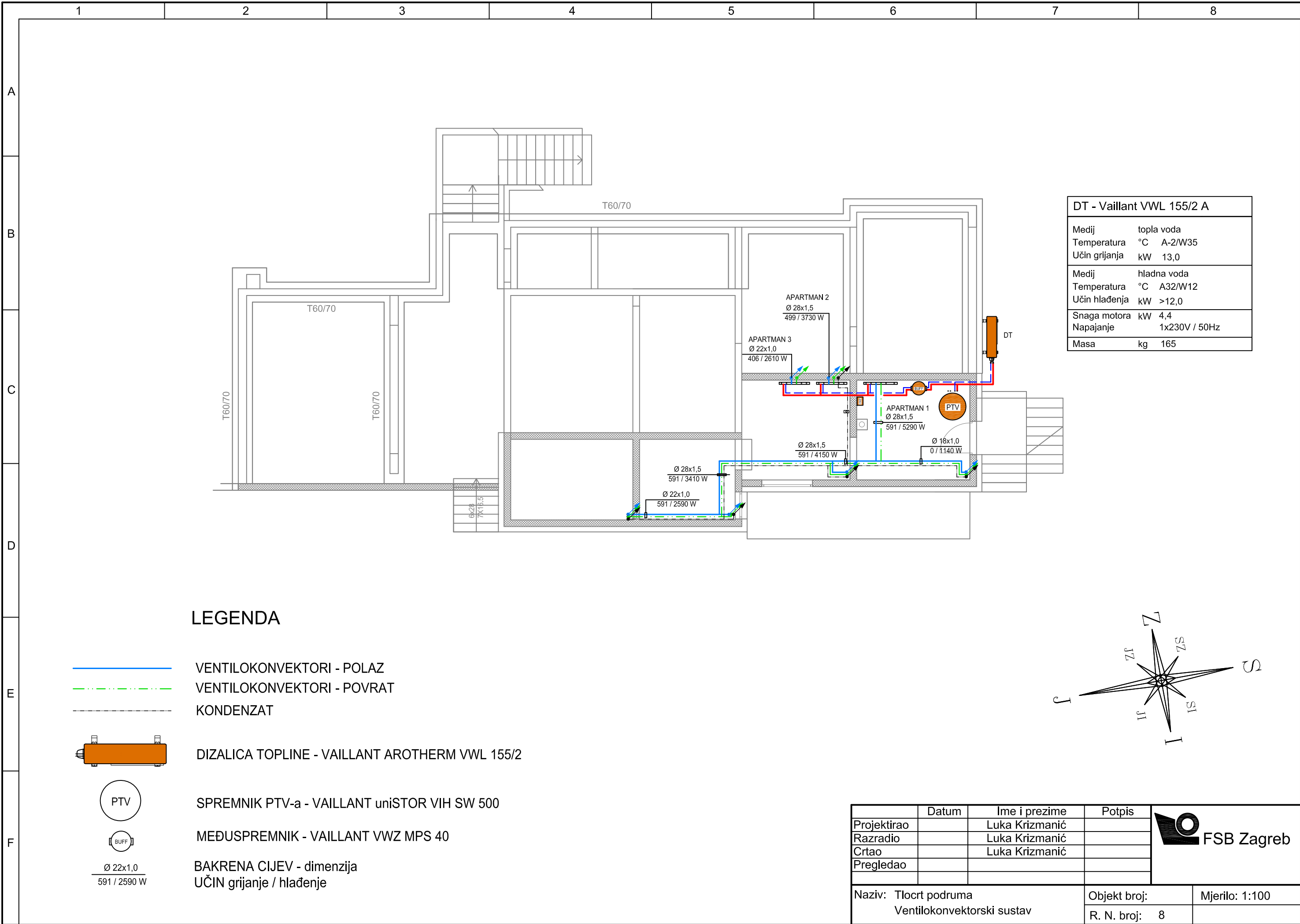
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao		Luka Krizmanić		
Razradio		Luka Krizmanić		
Crtao		Luka Krizmanić		
Pregledao				
Naziv: Tlocrt podruma Radijatorsko grijanje			Objekt broj: R. N. broj: 4	Mjerilo: 1:100













	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao		Luka Krizmanić		
Razradio		Luka Krizmanić		
Crtao		Luka Krizmanić		
Pregledao				
Naziv: Tlocrt prizemlja Ventilokonvektorski sustav			Objekt broj: R. N. broj: 9	Mjerilo: 1:100

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao		Luka Krizmanić		
Razradio		Luka Krizmanić		
Crtao		Luka Krizmanić		
Pregledao				
Naziv: Tloct 1. kata Ventilokonvektorski sustav			Objekt broj: R. N. broj: 10	Mjerilo: 1:100

